



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

NÁVRH OPATŘENÍ NA HORNÍM TOKU SVRATKY

PROPOSAL MEASURES AT UPPER REACHES SVRATKA RIVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radka Klepárníková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. HANA UHMANNOVÁ, CSc.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Radka Klepárníková
Název	Návrh opatření na horním toku Svratky
Vedoucí práce	Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:příčné profily toku, hydrologická data.

Literatura:

Raplík M., Výbora P., Mareš K. (1989). Úprava tokov, Alfa, Bratislava.

Mareš K. (1997). Úpravy toků, ČVUT, Praha.

Chow, Ven Te. (1959). Open Channel Flow. Mc Graw Hill Book Company.

Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. (1983). Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha.

Jandora, J., Uhmánová, H. (2006). Proudění v systémech říčních koryt. VUT FAST Brno.

Macura,V., Izakovičová, Z. Krajinoekologické aspekty revitalizácie tokov. Slovenská technická univerzita v Bratislave. 2000.

Šlezinger, M. Revitalizace vodních toků. VUT Brno, VUTIUM. Brno. 2011.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce je zaměřena na návrh opatření na toku Svratka v katastrálním území obce Český Herálec a Herálec na Moravě, v ř.km cca 164,000 – 167,000. Tok řeky Svratky je v řešeném úseku upraven. Cílem diplomové práce je návrh vhodné protipovodňové ochrany v intravilánu obce a zpracování návrhů opatření blízkých přírodě v extravilánu obce, které umožní obnovu ekologických funkcí vodního toku Svratka v pramenné oblasti.

V rámci diplomové práce proveďte:

- posouzení stavu vodního toku v řešené lokalitě,
- posouzení kapacity toku a objektů na toku (mosty, lávky, apod.),
- stanovení průběhu hladin velkých vod (pětileté, dvacetileté, stoleté)
- posouzení současného stupně protipovodňové ochrany obce,
- ideový návrh opatření na zvýšení ochrany přilehlého území a zlepšení stavu vodního toku.

Diplomová práce bude obsahovat:

Textovou část – Úvod, popis řešené lokality, popis stávajícího stavu vodního toku, hydrotechnické výpočty, návrh potřebných opatření, zhodnocení návrhu, závěr.

Přílohy – výkresová dokumentace v rozsahu studie (situace řešeného úseku, podélný profil toku, výkresy navržených objektů a opatření).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem opatření na toku Svratka v katastrálním území Český Herálec a Herálec na Moravě. Cílem diplomové práce je návrh vhodné protipovodňové ochrany v intravilánu obce Herálec a zpracování návrhů opatření přírodě blízkých v extravilánu obce, které umožní obnovu ekologických funkcí vodního toku Svratka v pramenné oblasti.

V rámci diplomové práce bylo provedeno posouzení stávajícího stavu vodního toku v řešené lokalitě, posouzení kapacity vodního toku a objektů na toku. Dále byly stanoveny průběhy hladin velkých vod a jejich rozlivy. Hydraulické výpočty proudění vody byly provedeny s využitím 1D a 1D/2D numerického modelu. Pro výpočet byl použit program HEC-RAS 5.0.3. Při zpracovávání 1D/2D numerického modelu byl vytvořen i manuál popisující postup práce v programu HEC-RAS 5.0.3. Na základě výsledků z numerického modelu byl proveden návrh protipovodňových opatření v intravilánu a opatření přírodě blízkých v extravilánu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Úprava toku, revitalizace, protipovodňová opatření, kyneta, meandrující koryto, ochranná hráz, práh, zápleťový plůtek, HEC-RAS, 1D numerický model, 1D/2D numerický model.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the proposal of measures on the Svratka stream in the cadastral area Český Herálec and Herálec na Moravě. The aim of the diploma thesis is to propose appropriate flood protection in the Herálec urban area and to elaborate proposals of nature friendly measures outside the municipality's built up area, which will enable the renewal of the ecological functions of Svratka in the spring area.

In the diploma thesis the assessment of the current state of the watercourse in the analyzed locality was carried out and also the assessment of the capacity of the watercourse and the objects on there. Furthermore, the flood levels and its areas were determined. Hydraulic water flow calculations were performed using the 1D and 1D/2D numerical model. For calculation, HEC-RAS 5.0.3 was used. When processing a 1D/2D numerical model, a manual describing the progress of work in the HEC-RAS 5.0.3 program was also created. On the basis of the results from the numerical model, a proposal for flood protection measures in the urban area and nature friendly measures in the extravilan was carried out.

KEYWORDS

Channel improvement, revitalization, flood protection, cunette, meandering channel, dike, sill, wattle work, HEC-RAS, 1D numerical model, 1D/2D numerical model.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Radka Klepárníková *Návrh opatření na horním toku Svratky*. Brno, 2018. 82 s., 260 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmannová, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Radka Klepárníková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Haně Uhmannové, CSc. za odborné vedení, pomoc při zpracování, za užitečné rady a připomínky a její čas. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za jeho pomoc, ochotu, vstřícnost a věnovaný čas při vysvětlování práce s 1D/2D numerickým modelem proudění vody v programu HEC-RAS 5.0.3.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Radka Klepárníková
autor práce

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	POPIS ÚZEMÍ	11
	2.1 Správní údaje a údaje o povodí.....	11
	2.2 Geologické poměry	13
	2.3 Pedologické poměry	15
	2.4 Klimatické poměry	17
	2.5 Hydrologické poměry.....	18
	2.6 Využití území, ZPF – v obcích Herálec a Svratka	19
	2.7 Stávající zeleň.....	19
	2.8 Odběry a vypouštění	20
	2.9 Životní prostředí	20
	2.10 Rekreační využití.....	20
	2.11 Splavnost toku.....	21
3	POPIS ŘEŠENÉHO ÚSEKU	22
	3.1 Extravilán pod obcí – úsek I	23
	3.2 Intravilán – úsek II	26
	3.3 Extravilán nad obcí – úsek III	31
	3.4 Objekty na toku	33
	3.4.1 Železobetonový mostek – ř. km 165,6747.....	33
	3.4.2 Silniční most – ř. km 165,8499	34
	3.4.3 Ocelová lávka – ř. km 165,9813	35
	3.4.4 Ocelový mostek – ř. km 166,4946	36
	3.4.5 Dřevěné lávky	37
	3.5 Posouzení současného stavu vodního toku a jeho protipovodňové ochrany	38
4	REVITALIZACE VODNÍCH TOKŮ A JEJICH VÝZNAM V OCHRANĚ PŘED POVODNĚMI.....	39
	4.1 Revitalizace vodních toků v extravilánu	40
	4.1.1 Kapacita koryta	40
	4.1.2 Stabilita koryta	40
	4.1.3 Trasa koryta.....	41
	4.1.4 Podélný profil vodního toku	42
	4.1.5 Příčný profil koryta	42
	4.2 Revitalizace vodních toků v intravilánech.....	44

4.2.1	Přechod mezi extravilánem a intravilánem	45
4.2.2	Zvětšení prostorového rozsahu vodního toku.....	46
4.2.3	Převádění velkých vod a příznivý ekologický stav.....	47
4.2.4	Vymezení říčního perimetru.....	48
4.2.5	Řešení koryt ve zvláště stísněných místech.....	48
5	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	50
5.1	Vstupní data	50
5.2	Použité programy	50
5.3	Postup řešení	50
5.4	1D model ustáleného nerovnoměrného proudění vody v otevřených korytech	51
5.4.1	Okrajové a počáteční podmínky	53
5.4.2	Stanovení drsnostního součinitele n	53
5.4.3	Výsledky	54
5.5	1D/2D model neustáleného proudění vody v otevřených korytech	56
5.5.1	Rovnice pro výpočet 1D modelu pro neustálené proudění.....	57
5.5.2	Rovnice pro výpočet 2D modelu pro neustálené proudění.....	58
5.5.3	Okrajové a počáteční podmínky	60
5.5.4	Stanovení drsnostního součinitele n	61
5.5.5	Výsledky	62
6	IDEOVÝ NÁVRH	63
6.1	Extravilán pod obcí – úsek I	65
6.2	Intravilán – úsek II	66
6.3	Extravilán nad obcí – úsek III	69
6.4	Doprovodná vegetace	70
7	ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ	71
8	ZÁVĚR	72
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	73
9.1	Internetové zdroje.....	73
9.2	Literatura, dokumenty.....	74
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	76
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
12	SEZNAM TABULEK	80
13	SEZNAM PŘÍLOH	81

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem opatření na toku Svratka v katastrálním území Český Herálec a Herálec na Moravě. Zájmový úsek se nachází v ř. km cca 164,000 – 167,000, v pramenné oblasti řeky Svratky. Obec Herálec je první obcí, kterou Svratka protéká. V 70. letech 20. století byly v řešené lokalitě provedeny úpravy vodního toku v několika etapách. Úpravami došlo ke zvětšení koryta toku v intravilánu a narovnání trasy v extravilánu. Vzhledem k současnému pojetí začlenění vodních toků do krajiny a navýšení ochrany obcí původní úprava nesplňuje nynější požadavky protipovodňové ochrany ani ekologickou funkci vodního toku. V zájmovém území se nejrozsáhlejší povodeň posledních třiceti let odehrála v roce 1997, kdy došlo na území obce k zaplavení domů a zahrad v okolí toku. Při povodňové události v roce 1997 nedošlo k žádným ztrátám na životech.

Cílem diplomové práce je návrh vhodné protipovodňové ochrany v intravilánu obce Herálec a zpracování návrhů opatření přírodě blízkých v extravilánu obce, které umožní obnovu ekologických funkcí vodního toku Svratka v pramenné oblasti.

V rámci diplomové práce bylo provedeno posouzení stávajícího stavu vodního toku v řešené lokalitě, včetně posouzení kapacity vodního toku a objektů na toku. Dále byly stanoveny průběhy hladin velkých vod a jejich rozlivy (Q_5 , Q_{20} , Q_{100}). Výpočty průběhů hladin a stanovení rozlivů byly provedeny pomocí programu HEC-RAS 5.0.3. Na základě provedených výpočtů byl posouzen současný stupeň protipovodňové ochrany obce, který nesplňuje požadavky ani na průtok $Q_5 = 15,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

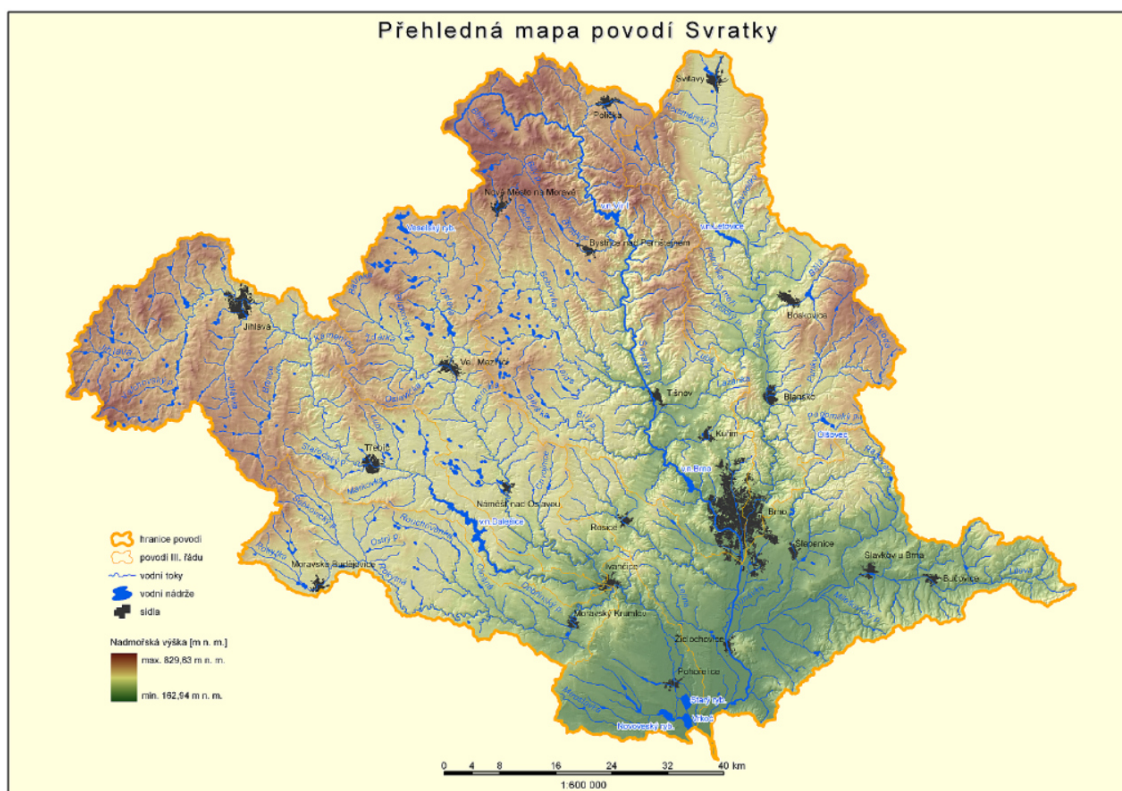
Po zjištění výše uvedeného byl v rámci diplomové práce zpracován ideový návrh protipovodňové ochrany intravilánu na průtok $Q_{20} = 28,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Dále byl zpracován ideový návrh na zlepšení stavu vodního toku v extravilánu.

Současně při zpracovávání rozlivů velkých vod byl vytvořen manuál postupu nastavení výpočtu 1D/2D modelu proudění v programu HEC-RAS 5.0.3. Manuál celkově zaznamenává jednotlivé kroky postupu práce se vstupními daty a hlavně postup nastavení výpočtu 1D/2D proudění vody v programu HEC-RAS 5.0.3.

2 POPIS ÚZEMÍ

2.1 Správní údaje a údaje o povodí

Řeka Svatka pramení v kraji Vysočina na Českomoravské vrchovině severně od Žďáru nad Sázavou u obce Cikháň. Přesněji pod Žákovou horou (810 m n. m.) v nadmořské výšce 771,93 m. Celková délka řeky Svatky činí 168,49 km. Plocha povodí Svatky je 7115,6 km². Největším přítokem Svatky je řeka Svitava. Správcem povodí je Povodí Moravy, s. p. Na Svatce se nacházejí dvě důležité vodní nádrže, Vodní nádrž Vír I a Brněnská přehrada. Dále neméně významná Vodní nádrž Vír II. Svatka je levostranným přítokem Dyje. Do Dyje ústí ve vodní nádrži Nové Mlýny – střed u Dolních Věstonic na jejím 53,19 ř. km ve výšce 162,94 m n. m. [1]



Obr. 2.1: Přehledná mapa povodí Svatky [1]

Řešený úsek Svatky se dle použitých podkladů nachází v ř. km cca 164 až 167, což podle digitální báze vodohospodářských dat odpovídá ř. km cca 159 až 162. Jedná se o horní část toku Svatky v blízkosti jejího pramene. V diplomové práci bylo použito staničení převzaté z poskytnutých podkladů. Správcem vodního toku je

Povodí Moravy, s. p. V základní vodohospodářské mapě, kterou poskytuje k nahlédnutí Hydroekologický informační systém VÚV TGM, je řešená lokalita v mapových listech označených čísly 13-44, 14-33, 23-22 a 24-11. Řešený úsek vodního toku se nachází na území dvou hydrologických povodí IV. řádu.

Tab. 2.1: Údaje hydrologických povodí IV. řádu [4]

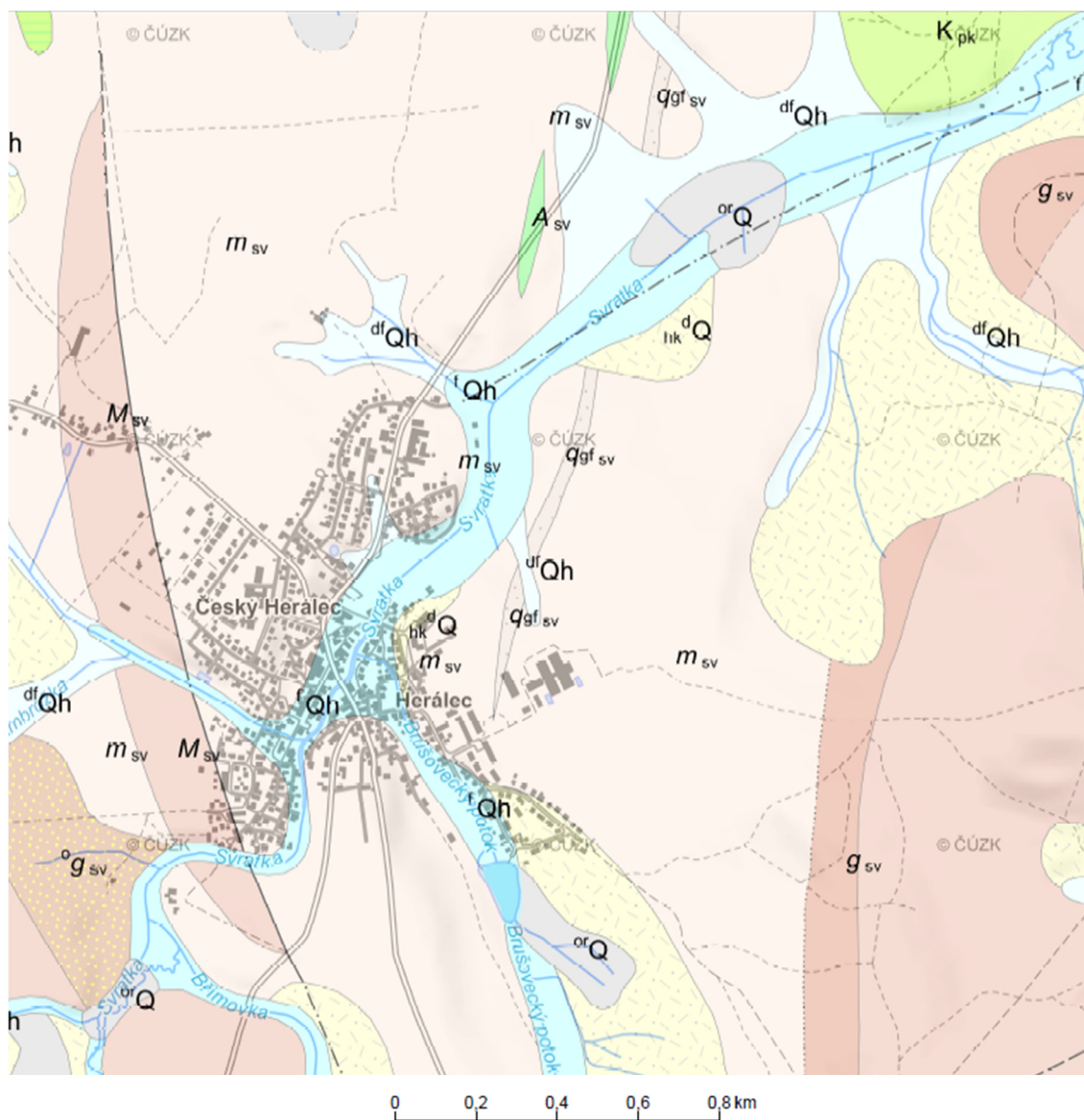
Číslo hydrologického pořadí	Plocha hydrologického povodí
4-15-01-0010-0-00	10,85 km ²
4-15-01-0030-0-00	13,26 km ²


















Obr. 2.2: Hydrologická povodí IV. řádu [4]

2.2 Geologické poměry

Na začátku řešeného úseku se v okolí řeky Svratky nacházejí rašeliny a rašelinné zeminy, které jsou označovány jako organické sedimenty (^{or}Q). Ve zbývajících částech řešeného úseku toku se v jeho bezprostřední blízkosti na pravém i levém břehu vyskytují fluviální hlinité písky až písčité štěrky (^fQh). Na konci zájmové lokality se stejně jako na jejím začátku nacházejí organické sedimenty. Levý břeh na konci řešeného úseku lemuje jemně až středně zrnitá biotitická perlová rula (^og_{sv}). Ve vzdálenějším okolí Svratky se z velké části na pravém i levém břehu vyskytuje hrubě zrnitý dvojslídny svor až živcový svor, místy s granátem a staurolitem, místy s turmalínem (m_{sv}). Většina menších přítoků Svratky v zájmovém území leží na deluviofluviálních písčito-hlinitých sedimentech, které místy obsahují úlomky hornin (^{df}Qh). Ojediněle nalezneme v zájmové lokalitě také středně zrnité leukokratické až dvojslídny migmatity až ortoruly, místy s turmalínem (M_{sv}). Geologická mapa je zobrazena na Obr. 2.3, její legenda je na Obr. 2.4.



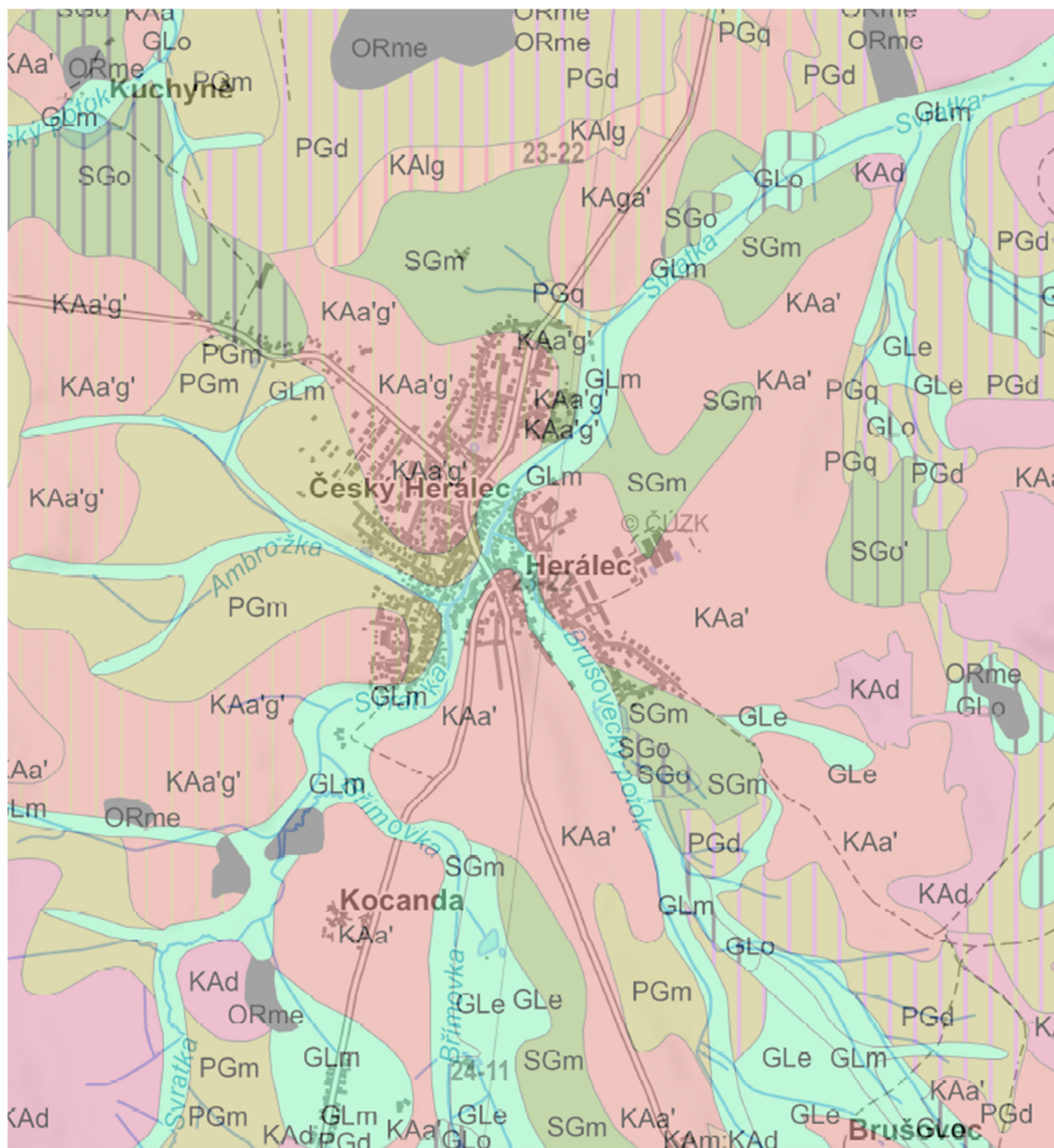
Obr. 2.3: Geologická mapa [5]

Tektonická linie		
—	zlom ověřený	
- - -	zlom předpokládaný	
· · · · ·	zlom zakrytý	
Geologická jednotka		
	sedimenty vodních nádrží, vodní plochy	
	A_{sv}	drobně až středně zrnitý masivní amfibolit, místy migmatizovaný
	K_p	jílence a prachovce, uhelnaté prachovce, písky, pískovce a slepence
	m_{sv}	hrubě zrnitý dvojslídny svor až živcový svor, místy s granátem a staurolitem, místy s turmalínem
	M_{sv}	středně zrnitý leukokratický až dvojslídny migmatit až ortorula, místy s turmalínem
	g_{sv}	drobně až středně zrnitá dvojslídna pararula, místy s turmalínem
	df_{Qh}	deluviofluviální písčito hlinité sedimenty, místy s úlomky hornin
	hk^d_{Qh}	deluviální hlinitokamenité až kamenitohlinité sedimenty
	og_{sv}	jemně až středně zrnitá biotitická perlová rula
	or_Q	organické sedimenty: rašeliny a rašelinné zeminy
	K_{pk}	jemně až středně zrnitý kaolinický pískovec s polohami jílovců
	f_{Qh}	fluviální hlinité písky až písčité štěrky
	gm_{sv}	středně zrnitá biotitická svorová rula
	qgf_{sv}	grafitický kvarcit
	S_{sv}	serpentinit

Obr. 2.4: Legenda geologické mapy [5]


























2.3 Pedologické poměry

Podél celého toku se v jeho bezprostřední blízkosti na obou březích v řešeném úseku vyskytuje glej modální (GLm). Dále se v řešené lokalitě nachází z největší části kambizem mesobazická (KAa) a kambizem mesobazická slabě oglejená. V zájmovém území nalezneme také pseudoglej modální (PGm) a stagnoglej modální (SGm). Pedologická mapa je zobrazena na Obr. 2.5 a její legenda na Obr. 2.6.



0 0,35 0,7 1,05 1,4 km

Obr. 2.5: Pedologická mapa [6]

	vodní plochy		KAs	kambizem rankerová	
	GLm	glej modální		KAm	kambizem modální
	KAa'g'	kambizem mesobazická slabě oglejená		KPm	kryptopodzol modální
	GLo	glej histický		LUg	luvizem oglejená
	GLk	glej kambický		ORme	organozem mesická
	GLe	glej povrchový		PGd	pseudoglej dystický
	GLo&r squo;	glej zrašelinělý		PGq	pseudoglej glejový
	KAa&r squo;	kambizem mesobazická		PGqd	pseudoglej glejový dystický
	KAd	kambizem dystický		RNm	ranker modální
	KAg&r squo;	kambizem oglejená mesobazická		SGm	stagnoglej modální
	KAgd	kambizem oglejená dystický		SGo	stagnoglej histický
	KAlg	kambizem luvická oglejená		SGo&r squo;	stagnoglej zrašelinělý
	PGm	pseudoglej modální			

Obr. 2.6: Legenda pedologické mapy [6]

2.4 Klimatické poměry

Podle Quittovy klasifikace byla řešená část řeky Svratky zařazena do oblasti klimatického regionu CH7. V klimatickém regionu CH7 je průměrná teplota v lednu -3 až -4 °C, v dubnu 4 až 6 °C, v červenci 15 až 16 °C a v říjnu 6 až 7 °C. Dnů s teplotou vyšší než 10 °C je 120 - 140 v roce, naopak dnů mrazivých je 140 - 160 za rok. Srážkový úhrn ve vegetačním období je v klimatickém regionu CH7 500 až 600 mm, v zimním období je srážkový úhrn 350 až 400 mm. Počet dnů se srážkami alespoň 1 mm je v rozmezí 120 - 130 dní v roce. Počet dnů se sněhovou pokrývkou je 100 - 120 dnů za rok. [7] Výše uvedené hodnoty jsou hodnoty tabulkové, jejich význam je pouze orientační.

2.5 Hydrologické poměry

Pro výpočet průběhu hladin velkých vod, jejich rozlivů a pro ověření návrhu byla použita data ze stávajících dokumentací, archivu a data z ČHMÚ. [8]

Tab. 2.2: Hydrologická data řeky Svratky [8]

Hydrologická data	
Vodní tok	Svratka
Číslo hydrologického pořadí	4-15-01-0030
Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí P_a	825 mm
Dlouhodobý průměrný průtok Q_a	394 l/s
Třída přesnosti	III.
Data m-denních průtoků odvozeny za období	1981 - 2010
N-leté průtoky odvozeny za období	1931 - 2013

Tab. 2.3: m – denní průtoky řeky Svratky [8]

m - denní průtoky Svratky														
m	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364	Třída
Q_m [l/s]	955	633	481	381	316	266	226	189	160	133	101	67	41	III.

Tab. 2.4: N – leté průtoky řeky Svratky [8]

N - leté průtoky Svratky								
N	1	2	5	10	20	50	100	Tř.
Q_N [m³/s]	7,7	10,4	15,8	21,4	28,6	40,6	52,0	III.

Použité N-leté a m-denní průtoky jsou určeny s přesností dat III. třídy, mohou tedy obsahovat odchylku. Podrobnější upřesnění neurčitostí jednotlivých dat je zobrazeno v Tab. 2.5 na následující straně.

Tab. 2.5: Orientační teoretické nejistoty dle ČSN 75 1400 [22]

Hydrologický údaj	třída přesnosti			
	I.	II.	III.	IV.
	střední kvadratická rel. chyba odhadu [%]			
Dlouhodobý průměrný průtok - Q_a	8	12	20	30
m-denní průtoky - Q_{30d} až Q_{300d}	10	15	25	40
N-leté průtoky - Q_1 až Q_{10}	10	20	30	40
N-leté průtoky - Q_{20} až Q_{100}	15	30	40	60

2.6 Využití území, ZPF – v obci Herálec

V katastrálním území obce Herálec převládá podle katastru nemovitostí lesní půda. Ze zemědělských půd převládají orná půda nad trvale travními porosty. Podrobnější přehled využití půdy v katastrálním území obce Herálec zobrazuje následující tabulka.

Tab. 2.6: Přehled ploch v zájmovém území [8]

Obec	Herálec
Celková výměra pozemku [ha]	2386
Orná půda [ha]	344
Chmelnice [ha]	0
Vinice [ha]	0
Zahrady [ha]	16
Ovocné sady [ha]	0
Trvalé travní porosty [ha]	303
Zemědělská půda [ha]	663
Lesní půda [ha]	1586
Vodní plochy [ha]	14
Zastavěné plochy [ha]	17
Ostatní plochy [ha]	106
Koeficient ekologické stability [%]	4,1

2.7 Stávající zeleň

Řeka Svratka v zájmovém území protéká lesními komplexy, které se nacházejí v I. zóně CHKO Žďárské vrchy. Na začátku řešeného úseku mezi lesem a Herálcem protéká Svratka lučními porosty, úsek je charakteristický absencí břehového a doprovodného porostu s výjimkou solitér v podobě křovin a stromů. Na okraji intravilánu obce Herálec k toku přiléhají náletové porosty, ve kterých je možno najít

porosty vrb či habrů. Úsek řeky Svratky protékající intravilánem obce Herálec je typický nábrežními zdmi a zástavbou nivy. Břehový ani doprovodný porost zde není. V intravilánu obce se nachází pouze místy roztroušené porosty na přilehlých zahradách. Na okraji intravilánu obce v jeho jižní části se nacházejí smíšené porosty listnatých a jehličnatých dřevin s často zastoupenou břízou bělokorou. Mimo intravilán obce Herálec směrem na jih protéká Svratka lučními porosty a je místy doprovázena solitérami, oblast je charakteristická cennými bylinnými společenstvy. Na luční porosty navazuje lesní komplex s monokulturou smrku ztepilého. Řeka Svratka v zájmovém území mimo intravilán obce Herálec převážně protéká lesy a lučními porosty, na které navazuje orná půda. [8]

2.8 Odběry a vypouštění

Odběry z vodního toku Svratka nejsou v řešené lokalitě realizovány. Na území obce Herálec se nachází pouze odběr podzemní vody prostřednictvím dvou studní pro Vodovodní sdružení Herálec – Chaloupky. Odebíraná hlubinná voda není nijak upravována. Na levém břehu Svratky mezi říčními kilometry cca 165,000 – 165,200 se nachází výust' odpadních vod z ČOV obce Herálec, která využívá biologické čištění. Přesné zaměření výusti není v diplomové práci lokalizováno. [8], [9]

2.9 Životní prostředí

Řešený úsek toku se nachází na území CHKO Žďárské vrchy, a to v jeho I., II. a III. zóně. V lokalitě nad obcí Herálec, kde se nachází I. zóna CHKO, je možný výskyt modráska bahenního a cenných bylinných společenstev. Zájmové území se nenachází v žádném dalším maloplošném zvláště chráněném území. V blízkosti řešené lokality se nachází významná národní přírodní rezervace Žákova hora, dále přírodní památky Devět skal, Bílá skála a Lisovská skála. Zmíněná národní přírodní rezervace a přírodní památky nebudou návrhem dotčeny. V zájmovém území ani v jeho blízkosti se nenachází žádný přírodní park. [8]

2.10 Rekreační využití

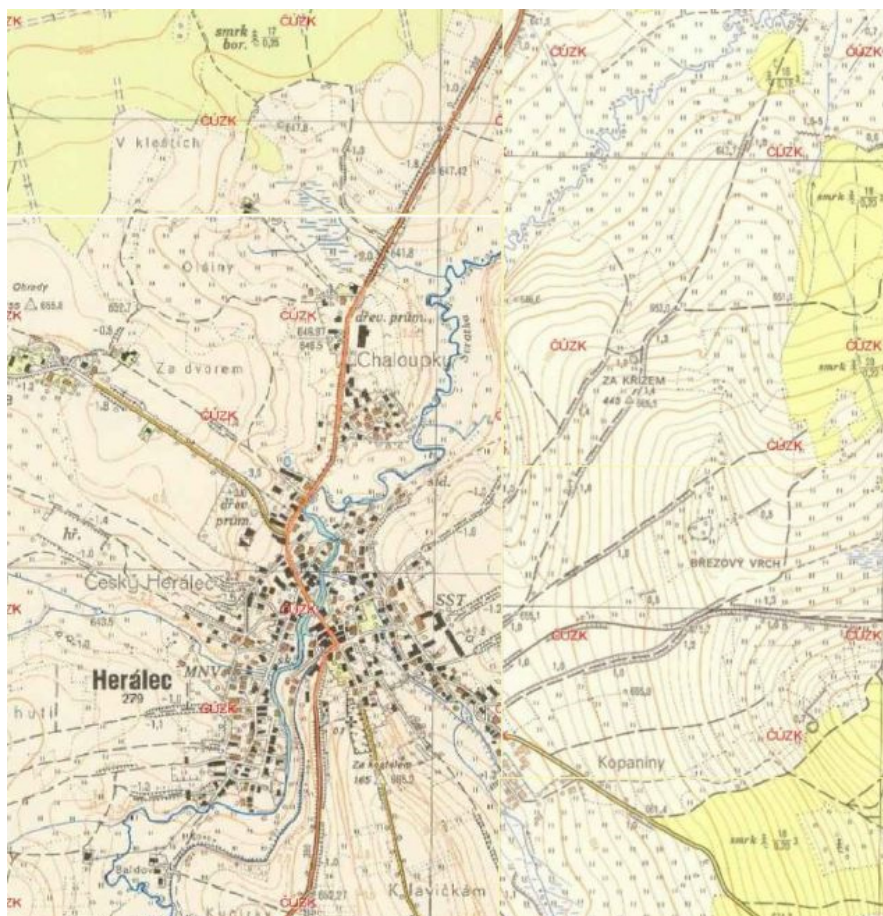
Řešený úsek Svratky neslouží k rekreačnímu využití.

2.11 Splavnost toku

Horní část řešeného úseku Svratky není splavná. V dolní části řešeného úseku je možné za obcí Herálec začít Svratku sjíždět, doporučuje se však začínat nejdříve v části pod Českými Milovy. [10]

3 POPIS ŘEŠENÉHO ÚSEKU

Řešený úsek se nachází na řece Svatce v ř. km 164,056 – 167,098, celková délka úseku je 3,042 km. Na začátku řešeného úseku ř. km 164,056 až ř. km 165,000, který se nachází v extravilánu, bylo koryto v dřívějších letech meandrující, později bylo uměle napříměno. V intravilánu mělo koryto řeky Svatky více prostoru a možností přirozeného pohybu. Zastavěné území obce se samozřejmě s přibývajícími roky začalo rozrůstat do prostorů údolní nivy a tím se zmenšila i plocha pro přirozený pohyb koryta. Řeka Svatka přirozeně meandrovala i nad obcí Herálec - ř. km 166,804 až ř. km 167,098. Nyní se na Svatce v řešeném úseku střídají pouze dlouhé oblouky a přímé úseky. Porovnat půdorysné trasy řeky Svatky z roku 1952 se stavem v roce 2017 je možné na Obr. 3.1 a Obr. 3.2.



Obr. 3.1: Topografická mapa – rok 1952 [11]



Obr. 3.2: Současná trasa Svatky – rok 2017

V zájmovém území se nacházejí tři významnější přítoky Svatky. Levostranný přítok Ambrožka a pravostranné přítoky Brušovecký potok a Břimovka.

3.1 Extravilán pod obcí – úsek I

Na začátku řešeného úseku, ř. km 164,000 až 165,000, protéká Svatka extravilánem, koryto je uměle napříměno. Břehy nejsou opevněny, místy je dno zpevněno dřevěnou kulatinou, která vytváří mírné spádové stupně. Úsek je vhodný

pro zadržení vody v krajině a vytvoření přirozených biotopů. Okolní pozemky jsou využívány pro zemědělství nebo jsou trvale zatravněné (viz Obr. 3.3, Obr. 3.4).



Obr. 3.3: Přímý úsek - ř. km 164,00



Obr. 3.4: Přímý úsek – ř. km 164,50

V ř.km 164,67 se nachází zpevněný brod pro přejezd vozidel, která obhospodařují pozemky na pravém břehu toku, Obr. 3.5.



Obr. 3.5: Zpevněný brod – ř. km 164,67

Místy dochází k vymílání břehů a koryto se snaží přirozeně rozvolňovat v údolní nivě, bohužel má Svratka stále daleko ke stavu přírodě blízkému. Ukázka snahy o přirozený pohyb je zřejmá na Obr. 3.6.



Obr. 3.6: Vymílání břehů, snaha o přirozený pohyb

3.2 Intravilán – úsek II

Druhý řešený úsek se nachází v intravilánu obce Herálec, ř. km 165,000 až 166,800. Na začátku intravilánu nejsou břehy Svratky opevněny, také dno není zpevněno. Bez opevnění břehů dochází k lokálnímu vymílání břehů, koryto se snaží přirozeně rozvolňovat, viz Obr. 3.7.



Obr. 3.7: Vymílání břehů, snaha o přirozený pohyb

V intravilánu v ř. km 165,600 až 166,100 je Svratka uzavřena do kamenných zdí, které ve většině případů bezprostředně navazují na okolní zástavbu. Prostor pro koryto mezi kamennými zdmi je velmi široký a ve vegetačním období dochází k jeho zarůstání (Obr. 3.8, Obr. 3.9, Obr. 3.10). Snížení kapacity průtočného průřezu zanášením a zarůstáním je jedním z problémů Svratky v intravilánu. Čištění průtočného průřezu, které zajišťuje správce vodního toku, je velmi nákladné a časově náročné. Intravilán je kapacitní na jednoletou vodu ($Q_1 = 7,7 \text{ m}^3/\text{s}$) s lokálním vybřežením, způsobeným vzdutím vody od křížících objektů na toku.



Obr. 3.8: Opevnění v intravilánu



Obr. 3.9: Zarostlé a zanesené koryto v intravilánu



Obr. 3.10: Zarostlé a zanesené koryto v intravilánu

Přibližně v ř. km 165,300 (Obr. 3.11) se nachází ostrohranný přeliv ve tvaru lichoběžníku, který tvoří migrační překážku na toku. Přeliv nebyl v podkladech uveden, jeho zaměření tedy nebylo k dispozici. Účel přelivu není v současné době znám, v rámci navržených opatřeních dojde k jeho odstranění.



Obr. 3.11: Ostrohranný přeliv

Na konci úseku v intravilánu (ř. km 166,100 – 166,800) už není Svratka opevněna kamennými zdmi. Na levém břehu se v tomto úseku stále nacházejí obytné domy a chaty, na pravém břehu již zástavba není, pouze doprovodné porosty a trvale zatravněné plochy. Břehy zde nejsou opevněny, lokálně dochází k jejich vymílání (Obr. 3.12) a poddolování převislých drnů. Místy je dno zpevněno dřevěnou kulatinou a vytváří mírné spádové stupně. V ř. km 166,500 se nachází zpevněný brod (Obr. 3.13) pro přejezd vozidel. Za brodem v ř. km 166,600 až 166,700 je pata svahu zpevněna betonovými panely, které zabraňují přirozenému meandrování toku a udržují ho v přikázané trase, viz Obr. 3.14. Na levém břehu toku se nacházejí v ř. km 166,600 – 166,800 dva soukromé rybníky.



Obr. 3.12: Vymílání břehů – výsep ř. km 166,300



Obr. 3.13: Zpevněný brod – ř. km 166,500



Obr. 3.14: Betonové panely – ř. km 166,600 – 166,700

3.3 Extravilán nad obcí – úsek III

Poslední část řešeného úseku se nachází v extravilánu v ř. km 166,800 – 167,098. Na začátku posledního úseku je spádový stupeň (Obr. 3.15) z železobetonových

panelů, který je migrační překážkou na toku. Hned za spádovým stupněm do řeky Svratky ústí vodní tok s názvem Břímovka.



Obr. 3.15: Spádový stupeň

Koryto je v posledním úseku opět uměle napříměno. Není nijak opevněno, místy dochází k vymílání břehů a snaze o přirozený pohyb trasy (Obr. 3.16), ovšem jeho samovolná renaturace by trvala velmi dlouho.



Obr. 3.16: Ukázka extravilánu ř. km 166,920

3.4 Objekty na toku

3.4.1 Železobetonový mostek – ř. km 165,6747

Prvním objektem křížícím Svratku v intravilánu obce Herálec je železobetonový mostek (Obr. 3.17, Obr. 3.18, Obr. 3.19), který slouží pro přejezd vozidel, současně slouží i jako mostek pro pěší. Železobetonový mostek je podepřen kamennými zdmi, které opevňují břehy Svratky v intravilánu. Mostek je napojen na místní pozemní komunikaci. Železobetonový mostek je opatřen ocelovým zábradlím po obou stranách. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 638,25 m n. m. a dolní hrany mostovky je 637,85 m n. m. Šířka mostku je 3 metry a jeho kapacitní průtok je průtok $Q_1 = 7,7 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. 3.17: Železobetonový mostek – ř. km 165,6747



Obr. 3.18: Železobetonový mostek – ř. km 165,6747 – pohled po směru toku



Obr. 3.19: Železobetonový mostek – ř. km 165,6747 – pohled proti směru toku

3.4.2 Silniční most – ř. km 165,8499

Další objekt, který kříží řeku Svatku je historický silniční kamenný most zvaný Valenův most (Obr. 3.20, Obr. 3.21). Kamenný tříobloukový most pochází z roku 1856 a je historickou památkou, proto je třeba při návrhu počítat s jeho neměnným stavem. Most je dostatečně kapacitní a převede i dvacetiletou vodu ($Q_{20} = 28,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Silniční most se nachází na silnici II. třídy s označením komunikace 350. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 641,75 m n. m., dolní hrana je tvořena třemi oblouky s maximální výškou 639,96 m n. m. Šířka silničního mostu je 7 metrů.



Obr. 3.20: Silniční most – ř. km 165,8499 – pohled proti směru toku



Obr. 3.21: Silniční most – ř. km 165,8499

3.4.3 Ocelová lávka – ř. km 165,9813

Třetím objektem na toku je ocelová lávka (Obr. 3.22, Obr. 3.23), která slouží pouze pro pěší. Ocelová lávka je podepřena kamennými zdmi, které opevňují břehy Svratky v intravilánu. Lávka má ocelové zábradlí pouze na jedné straně. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 638,66 m n. m., výška dolní hrany mostovky je 638,41 m n. m. Šířka ocelové lávky pro pěší je 1,2 metrů. Lávka je kapacitní při průtoku 4 m³/s.



Obr. 3.22: Ocelová lávka – ř. km 165,9813 – pohled proti směru toku



Obr. 3.23: Ocelová lávka – ř. km 165,9813

3.4.4 Ocelový mostek – ř. km 166,4946

Poslední objekt na toku v řešeném úseku je ocelový mostek (Obr. 3.24, Obr. 3.25) sloužící pro přejezd vozidel a pro pěší. Mostek je plynule zaústěn do okolního terénu, navazuje na místní pozemní komunikaci. Ocelový mostek je opatřen zábradlím na jedné straně. Nadmořská výška horní hrany mostovky je 640,30 m n. m., dolní hrana mostovky je 640,02 m n. m. Ocelový mostek je široký 3 metry a je kapacitní při průtoku $Q_2 = 10,4 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. 3.24: Ocelový mostek – ř. km 166,4946 – pohled proti směru toku



Obr. 3.25: Ocelový mostek – ř. km 166,4946

3.4.5 Dřevěné lávky

Na toku se místy nacházejí dřevěné lávky majitelů okolních pozemků, které nebyly v poskytnutých podkladech zaměřeny. Z tohoto důvodu nebyly v práci uvažovány a v rámci návrhu PPO by se veškeré nezaměřené dřevěné lávky odstranily.

3.5 Posouzení současného stavu vodního toku a jeho protipovodňové ochrany

Svratka byla v řešené lokalitě ovlivněna zásahy lidskou činností. V extravilánu bylo koryto v dřívějších letech napřímeno z důvodu využití okolních ploch a v intravilánu byla řeka uzavřena do kamenných zdí. Napřímením bylo potlačeno přirozené meandrování toku a jeho členitost. Tok chybí nejen členitost trasy, dna a břehů, ale také hloubek a rychlostí. V zájmovém území se vodní tok potýká se značnou absencí doprovodné vegetace. Není ovšem potlačena veškerá jeho přirozenost, díky vyhnutí se technickým opevněním, a proto jeho stav můžeme označit za uspokojivý, ne však přírodě blízký a se špatnou ekologickou funkcí. Vzhledem k tomu, že se vodní tok nachází v CHKO, bylo by vhodné jej revitalizovat a přiblížit ke stavu přírodě blízkému a umožnit vznik biotopů vodních rostlin, živočichů i mokřadních společenstev.

Protipovodňová ochrana intravilánu je nedostačující. Intravilán není chráněný ani na pětiletou vodu ($15,8 \text{ m}^3/\text{s}$), proto je potřeba protipovodňovou ochranu navýšit. Průběh hladin velkých vod současného stavu si můžete prohlédnout v tabulkách, které jsou součástí příloh.

4 REVITALIZACE VODNÍCH TOKŮ A JEJICH VÝZNAM V OCHRANĚ PŘED POVODNĚMI

Diplomová práce řeší úseky toku pod a nad intravilánem obce formou revitalizace současné úpravy toku řeky Svratky. Z tohoto důvodu je následující kapitola zaměřena na přehled teoretických aspektů revitalizací vodních toků.

Velmi nepříznivé pro přírodu a krajinu jsou zásahy v podobě technických vodohospodářských úprav, které nahrazovaly přírodní koryta vodních toků umělými kanály s jednoduchými tvary a téměř zlikvidovaly tůně, mokřady a stará říční ramena. Uměle vytvořená koryta s velkým průtočným průřezem sice převedou soustředěný povodňový průtok a v daném místě vykazují ochranný účinek, avšak koncentrují průběh povodňové vlny a zrychlují její postup do nižších částí povodí. V dnešní době se pokoušíme o opatření opačně orientovaná, která napravují dopady výše zmíněných technických úprav vodních toků a jejich niv, pomocí vodohospodářské revitalizace. [12]

Revitalizace vodních toků a niv je tedy proces náprav dřívějších nevhodně provedených úprav směrem k původnímu, přírodě blízkému stavu. Cílem revitalizace vodních toků a niv je obnova přirozené funkce vodních ekosystémů. Dalšími významnými přínosy jsou obnova přirozených zásob mělké podzemní vody, posílení samočistící kapacity, protipovodňové efekty, zvětšující ekologická a pohledová hodnota primárně technických opatření. [12]

V ochraně před povodněmi se revitalizace uplatňuje zejména v následujících situacích [12]:

- Podpora přirozených rozlivů v nivách.
- Vytváření přírodě blízkých ochranných koryt.
- Rozlišování niv na přírodě blízké povodňové koridory a na plochy více chráněné před zaplavováním.
- Obnova povodňových rozlivných koridorů v nivách.
- Změny hrázových systémů, zejména odsazováním ochranných hrází dál od vodního toku.
- Výstavba polosuchých poldrů.

- Podpora a usměrňování plošného rozlivu a zpomalování povodní nízkými zemními valy.

4.1 Revitalizace vodních toků v extravilánu

4.1.1 Kapacita koryta

Revitalizovaná koryta drobných vodních toků nekladou velké nároky na kapacitu průtočného průřezu. Nachází-li se revitalizované koryto v lukách a podobných plochách, je vhodné navrhovat jeho kapacitu v rozmezí Q_{30d} maximálně Q_1 . Při větších průtocích dochází k rozlivu do nivy. V místech neobdělávané půdy, mokřadů a lužních hájů je kapacita koryta prakticky bezpředmětná a může být i menší než Q_{30d} . [13]

4.1.2 Stabilita koryta

Důležitá je stabilita koryta při navrhovaném kapacitním průtoku, z toho vyplývá, že průřezová rychlost při kapacitním průtoku nesmí překročit nevymílací rychlost odvozenou pro efektivní zrna materiálu dna a břehů. Snahou je navrhnout revitalizovaná koryta tak, aby byla stabilní v místních zeminách, případně je opevnit kamennými záhozy, pohozy či nesouvislými kamennými figurami nebo rostlou zeminou. Mimo zastavěná území se snažíme nepoužívat tvrdá opevnění kamennými dlažbami, rovnaninami a tvárnicemi. Z těchto důvodů navrhujeme koryta, která budou vystavena menším rychlostem. Toho docílíme [13]:

- Přiměřeně malou kapacitou koryta,
- zmírněním podélného sklonu rozvlněním trasy,
- větší drsností koryta.

Ke stabilitě koryta přirozeně přispívají tůně ve vrcholcích oblouků, tedy v místech konkávních břehů. Dochází zde k tlumení energie a snížení rychlosti proudění díky vyšší hloubce vody v tůni. Dalším přirozeným prvkem zpevňujícím koryta vodních toků je doprovodný porost. Kořeny stromů rostoucích na břehu či na břehové čáře je významně zpevňují. [13]

Průměrné hloubce proudění 0,4 m s přirozenými materiály dna a tvárným kamenným opevněním přísluší následující orientační vymílací rychlosti [13]:

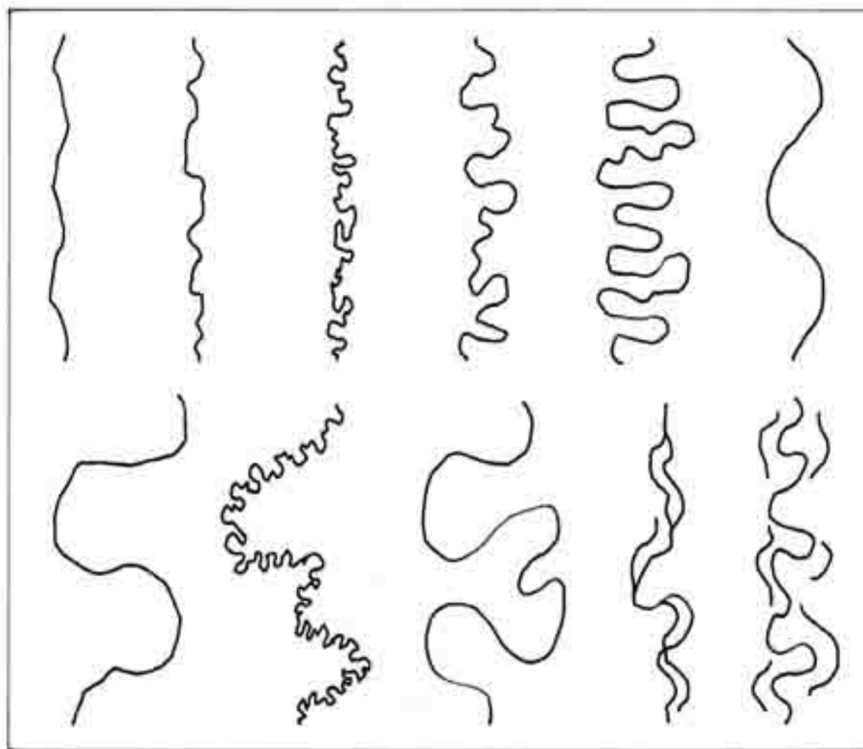
• střední písek	0,25 – 1 mm	0,27 – 0,47 m/s
• hrubozrný písek	1 – 2,5 mm	0,47 – 0,53 m/s
• drobný hrubý štěrk	10 – 15 mm	0,8 – 0,95 m/s
• střední štěrk	25 – 40 mm	1,2 – 1,5 m/s
• hrubý štěrk	40 – 75 mm	1,5 – 2,0 m/s
• malé kameny	75 – 100 mm	2,0 – 2,3 m/s
• střední kameny	100 – 150 mm	2,3 – 2,8 m/s
• velké kameny	150 – 200 mm	2,8 – 3,2 m/s

Průměrné hloubce proudění 0,4 m s umělým opevněním přísluší následující orientační vymílací rychlosti [13]:

• drnování na plocho	0,6 m/s
• drnování čelné	1,5 m/s
• opevnění proutím	1,8 m/s
• dlažba z kamenů 15 až 20 cm	2,5 m/s
• betonová dlažba	4,2 m/s

4.1.3 Trasa koryta

Členitost trasy koryta vodního toku je velmi důležitá pro jeho přirozený pohyb, střídáním protisměrných oblouků dochází také k tlumení energie vodního proudu, což podporuje stabilitu koryta. Při návrhu nové trasy koryta je samozřejmě snahou se co nejvíce přiblížit jeho původní trase. Návrh nové trasy můžeme odhadnout ze vzorového úseku řešeného vodního toku, do kterého nebylo v dřívějších letech zasahováno. Hlavními vzorovými parametry pro trasování toku jsou šířka meandrového pásu, poloměry a tvar oblouků a délka přechodových úseků mezi jednotlivými oblouky. Další alternativou je návrh trasy dle průběhu koryta ze starých map nebo dochovaných leteckých snímků. Využití starých map je rozhodně autentičtější. Můžeme se ale také řídit znamením, kterými nám příroda sama napovídá, jako jsou třeba stopy příležitostných povodňových koryt v nivě, dochované stopy původního koryta včetně původní doprovodné vegetace nebo třeba pozůstatky starých mlýnských náhonů. [13]



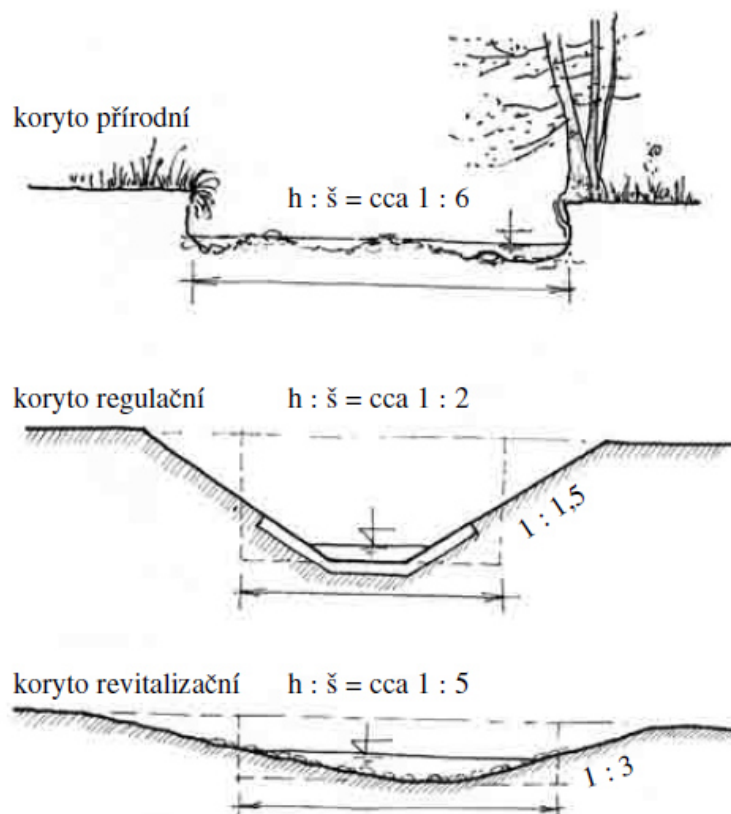
Obr. 4.1: Vzorové trasy vodních toků [13]

4.1.4 Podélný profil vodního toku

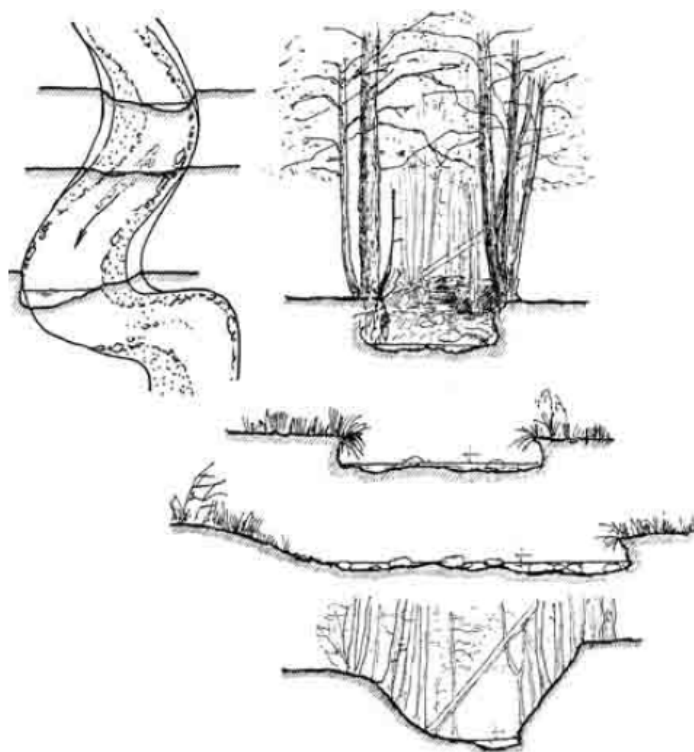
Při revitalizaci vodního toku se snažíme, aby byl podélný profil co nejvíce členitý a respektoval přirozený průběh terénu. Jeho členění by mělo souviset s trasováním toku v rámci jednotlivých úseků, kde se střídají klidové a proudové pasáže. Proudová místa, tedy peřeje a brody, se nacházejí v přechodech mezi dvěma oblouky. Naopak klidové úseky tůň nalezneme v nárazových vrcholech oblouků. Střídání jednotlivých pasáží s menším nebo větším sklonem dna také rozčleňuje koryto ekologicky a je příznivé z hlediska samočistící schopnosti vodního toku. [13]

4.1.5 Příčný profil koryta

Příčné profily přirozených koryt potoků a říček mají nejčastěji tvar pekáče, kde šířka převažuje několikanásobně nad hloubkou. Poměr šířky k hloubce se pohybuje v rozmezí zhruba 4:1 až 10:1. Problémem při stavbě pekáčovitých příčných profilů je nestabilita jejich strmých svahů, a proto se při revitalizacích nenavrhují. Nahrazují se miskovitým plochým tvarem se sklonem svahů nanejvýše 1:3, raději mírnějším. [13]



Obr. 4.2: Srovnání základní geometrie příčných profilů [13]

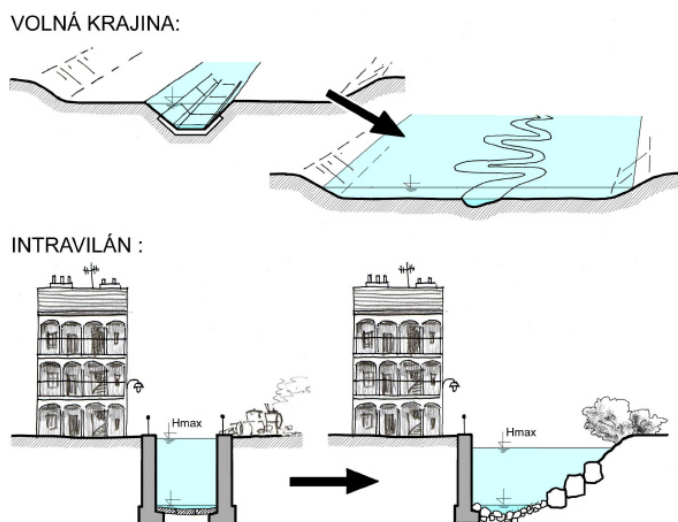


Obr. 4.3: Příčné profily přirozených vodních toků

4.2 Revitalizace vodních toků v intravilánech

V intravilánech je v případě revitalizace prostor vodního toku značně omezen zástavbou a dopravní či jinou technickou infrastrukturou. Často zde nelze trasu koryta vodního toku dostatečně rozvolnit a umožnit mu přirozený pohyb, který potřebuje. Jsou ovšem i případy, ve kterých je prostoru dostatek, a i přesto bylo koryto v dřívějších letech uzavřeno do betonových rovných kanálů. Revitalizace vodních toků v intravilánech se snaží dřívější tvrdé technické úpravy přeměnit na přírodě blízká a zároveň protipovodňová opatření. Díky tomu dojde ke zlepšení ekologického stavu vodního toku a v mnohých případech se stane i příjemnou klidovou zónou pro obyvatele intravilánu.

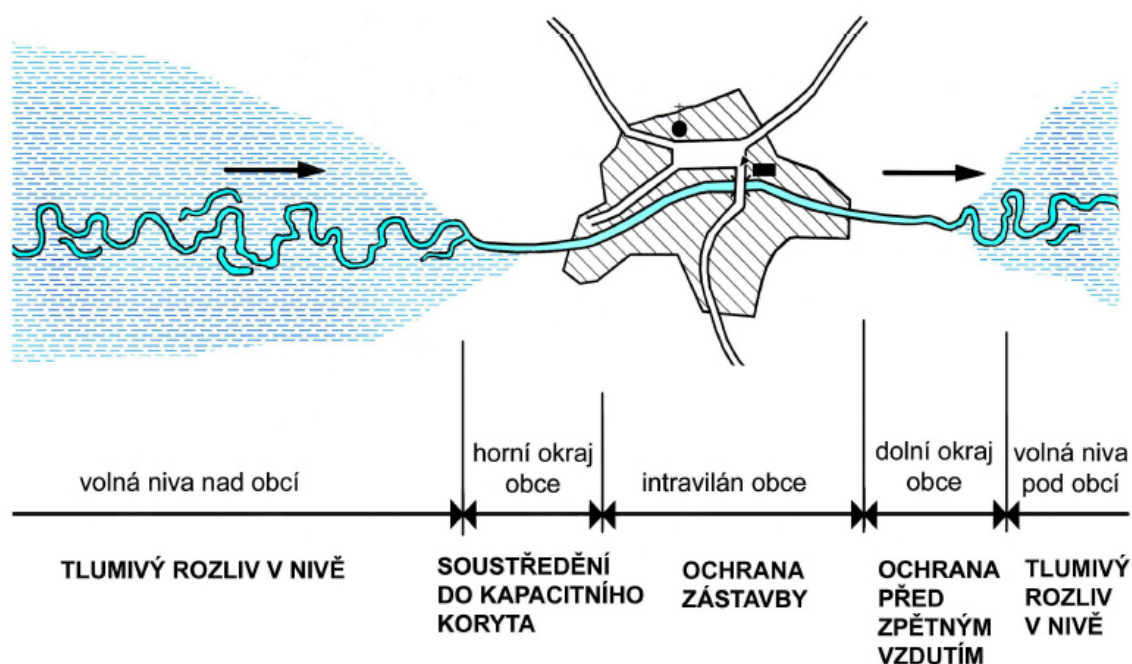
V zastavěných územích je na prvním místě požadavek protipovodňové ochrany zástavby. Revitalizace v intravilánu je proto pojata jiným způsobem než ve volné krajině. Přírodě blízkého stavu je zde nutno dosáhnout, aniž by se zmenšila průtočná kapacita. V mnohých případech je třeba průtočnou kapacitu i navýšit. V těchto případech se využívá povodňového rozvolnění, které spočívá ve zkapacitnění povodňového koryta rozšiřováním do rozvolněných tvarů, které umožňují rozvoj přírodě blízkých prvků. Vše závisí samozřejmě na možnosti využitelnosti území. Je možné například posílit protipovodňovou ochranu intravilánu dodatečnými průtočnými kapacitami jako jsou paralelní koryta, povodňová ochranná koryta nebo povodňové průlehy. [14]



Obr. 4.4: Rozdílné požadavky revitalizace ve volné krajině a intravilánu [14]

4.2.1 Přechod mezi extravilánem a intravilánem

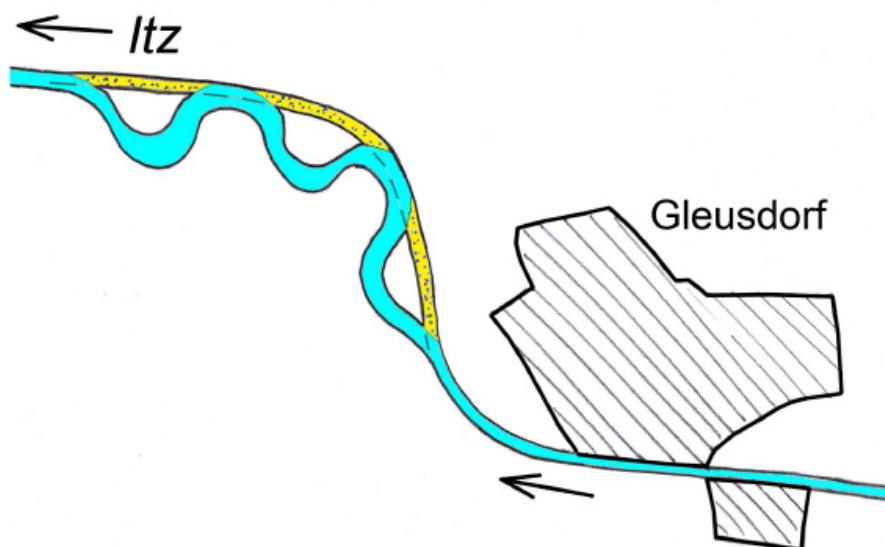
Jak již bylo výše uvedeno, rozdíly mezi požadavky kladenými na vodní toky v extravilánu a intravilánu jsou rozdílné. Z toho důvodu je třeba při revitalizaci myslet na přechod mezi volnou krajinou a trvalou zástavbou. Umožníme-li vodnímu toku v rámci krajinné revitalizace plošný rozliv na horním okraji zástavby, je nutné navrhnout přechodový úsek, ve kterém dojde k soustředění rozlivů zpět do koryta vodního toku před vtokem do intravilánu. Soustředění plošných rozlivů zpět do koryta můžeme docílit například dotvarováním okolního terénu nebo křídelními hrázemi. Podobně je tomu v části dolního okraje intravilánu, kde musíme brát v úvahu možnost zpětného vzdutí za povodně. Proto není vždy vhodné navrhovat hned za poslední stavbou první revitalizační meandr a umožňovat rozliv za povodní do nivy. V tomto případě je vhodné opatřit možnost zpětného vzdutí takzvanou povodňovou savkou, tedy přechodovým úsekem s dostatečnou průtočnou kapacitou za povodně. Přechod mezi extravilánem a intravilánem je znázorněn na Obr. 4.5. [14]



Obr. 4.5: Přechod mezi extravilánem a intravilánem [14]

Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma výše zmíněné povodňové savky na řece Itz pod Gleusdorffem v Německu. Staré koryto je znázorněno žlutou barvou s tečkami, jeho trasa je zasypana pouze natolik, aby běžné průtoky byly směřovány

do nově navržených meandrů a povodňové průtoky procházely zároveň oběma cestami. [14]



Obr. 4.6: Povodňová savka [14]

4.2.2 Zvětšení prostorového rozsahu vodního toku

„Větší prostorový rozsah vodního toku poskytuje větší průtočnou nebo retenční kapacitu. Zpomaluje povodňové proudění a snižuje úroveň hladin, což je obojí podstatné jak z hlediska vzniku škod na okolní zástavbě, tak z hlediska postupu povodňových vln do dalších částí povodí. Zároveň nabízí více možností pro rozvoj členitých struktur koryta, břehů a nivy, tedy umožňuje obnovu příznivého ekologického stavu vodního toku.“ [14]

Zvětšení prostorového rozsahu vodního toku, tedy zvětšení povodňového průtočného průřezu, můžeme docílit podle místních podmínek různými způsoby [14]:

- Sklápět zemní břehy koryta do mírnějších a proměnlivých sklonů,
- členitě tvarovat vybrání v březích a místní rozšíření koryta,
- snižovat úroveň berem,
- odebíráním materiálu berem rozšiřovat kynetu,
- odebírat dosud vyvýšený terén po stranách vodního toku a povodňové koryto tak rozšiřovat o nové bermy, případně vytvářet novou, níže umístěnou polohu nivy,
- odsazovat ochranné hráze nebo stěny, a tak rozšiřovat povodňový perimetr,

- vytvářet paralelní koryta nebo průlehy, resp. paralelní kynety.

Výše uvedené možnosti zvětšování prostorového rozsahu vodního toku lze kombinovat. V praxi se využívá označení těchto opatření jako povodňové rozvolnění. Pojem povodňové rozvolnění zahrnuje protipovodňovou ochranu a zároveň zlepšování morfologického stavu vodních toků. Jednoduchou definici povodňového rozvolnění můžeme vystihnout jednou větou: „Když zvětšovat kapacitu koryta, tak rozvolňováním do přírodě blízkých tvarů.“ Zvětšování koryta a jeho kapacity by se mělo provádět pomocí jeho rozšíření do stran s přírodě blízkými prvky nikoliv prohlubováním koryta, které je nežádoucí a rizikové. [14]

4.2.3 Převádění velkých vod a příznivý ekologický stav

Abychom převedli povodňový průtok v intravilánu, potřebujeme velkou kapacitu koryta. Pro dobrý morfologický stav vodního toku požadujeme naopak menší průtočnou kapacitu do Q_{30d} . Tyto dva zdánlivé protiklady lze skloubit pomocí složeného průtočného průřezu, kdy je v hlavním povodňovém kapacitním korytě vložena přírodě blízká kyneta, která nepřesahuje kapacitu Q_{30d} . [14]



Obr. 4.7: Vhodné úpravy koryt v intravilánu [14]

Kynetu vodního toku můžeme navrhnout tuhou nebo tvárnou. Samozřejmě je přírodě bližší kyneta tvárná, ovšem v intravilánu nemáme vždy tuto možnost. Snažíme se alespoň, pokud to jde, se tuhým konstrukcím vyvarovat. Vhodné jsou pro intravilán tvárné konstrukce, jako jsou pohozy, zához, rovinaniny z kamene, do jisté míry též konstrukce gabionové. Tvárné konstrukce se mohou přizpůsobovat různým tvarovým změnám okolního prostředí, a přitom zachovávat svoji funkčnost. [14]

4.2.4 Vymezení říčního perimetru

„V intravilánech je pro dosažení potřebné průtočné kapacity často nutné povodňový perimetr vymežit hrázemi nebo stěnami. Jedná se primárně o technické protipovodňové prvky, nicméně i pro ně by měla v rámci možností platit pravidla víceúčelovosti, co nejlepšího vzhledu a zapojení do prostředí.“ [14]

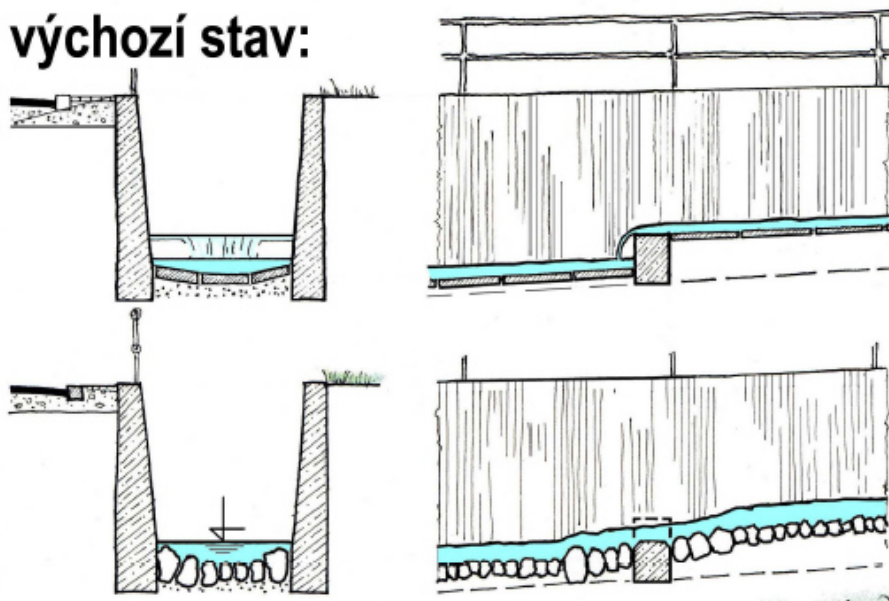
4.2.5 Řešení koryt ve zvláště stísněných místech

Často se v intravilánu objevují situace, kdy bylo koryto vodního toku uzavřeno z obou stran do betonových nebo kamenných zdí či je ohraničeno zástavbou. V těchto případech bohužel nelze využívat povodňového rozvolnění a koryto rozšiřovat do šířky. Jediná možnost, jak pomoci takovým vodním tokům je v prostoru jejich dna. Je třeba upravit dno koryta tak, aby mělo základní tvarovou a hydraulickou členitost a zajistit migrační propustnost pro vodní živočichy. [14]

Pokud jsou postranní zděné či betonové stěny koryta samonosné, nemusí je spojovat tuhá konstrukce ve dně. V tomto případě je možné řešit dno jako relativně přírodě blízké. Lze zde použít na úpravu dna kamenité konstrukce se sledem prohlubní a stabilizačních pásů rovinaných z kamene. *„Stabilizační pásy mohou být příčné nebo šikmé, mohou vytvářet sledy nebo mřížovité struktury. Vhodným prvkem, chránícím stabilitu postranních stěn a současně zvětšujícím tvarovou členitost koryta, je nepravidelná přirovnávka větších kamenů k patám stěn.“* [14]

Pokud nejsou postranní stěny samonosné a koryto funguje v příčném řezu jako rám, není možné přírodě blízkého stavu plně docílit. V případě, že je koryto ve špatném stavu a je nutná jeho oprava, můžeme navrhnout nahrazení samostatně nestabilních konstrukcí samonosnými konstrukcemi a navrhnout na dně výše zmíněné úpravy. Pokud ale musí zůstat zachována statická funkce dna, můžeme se alespoň pokusit přeměnit dno do členitějších povrchových tvarů, které budou splňovat

požadavky členitosti a migrační propustnosti. „Použít můžeme například kamenitou strukturu, která pohledově působí přírodě blízkým dojmem, jedná se však o kameny zapuštěné do betonového lože nebo o dlažbu s velmi hrubým povrchem. Lze využít zkušeností z výstavby rybích přechodů, kde jsou tuhé, ale drsné a migračně propustné žlaby běžnou konstrukcí. Inspirací mohou být zejména rybí přechody s příčnými řadami kamenů.“ [14] Vzorový příklad úpravy dna vodního toku je zobrazen na Obr. 4.8.



Obr. 4.8: Úprava dna vodního toku v intravilánu [14]

5 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

V rámci diplomové práce byly stanoveny průběhy hladin velkých vod a jejich rozlivů za současného a návrhového stavu. Jedná se o průtoky Q_5 , Q_{20} a Q_{100} . Výpočty průběhů hladin a rozlivů byly provedeny pomocí programu HEC-RAS 5.0.3, kde bylo využito výpočtu 1D modelu pro průběh hladin velkých vod a pro výpočet rozlivů byl použit 1D/2D model.

5.1 Vstupní data

Vstupní data pro diplomovou práci poskytla vedoucí práce paní Ing. Hana Uhmánová, CSc. K dispozici byla pouze hydrologická data III. třídy, podrobné situace toku a zaměřené příčné řezy řešeného úseku ve formátu *.pdf. Zaměření příčných řezů provedla firma ŠINDLAR s.r.o. Dále bylo využito volně přístupných dat z internetu jako je digitální model reliéfu 5. generace, digitální báze vodohospodářských dat, WMS služby.

5.2 Použité programy

Pro zpracování dat a pro přípravu digitálního modelu terénu byly použity programy MS Excel, ArcMap 10.2, AutoCAD Civil 3D. Pro výpočet proudění vody v 1D a 1D/2D modelu byl použit program HEC-RAS 5.0.3.

5.3 Postup řešení

V následující kapitole bude zjednodušeně popsán postup zpracování vstupních dat a řešení práce. Podrobný postup nastavení 1D/2D modelu je popsán v příloze číslo 4.

Postup zpracování dat:

- Přepis dat z *.pdf do *.xls a *.txt,
- výpočet souřadnic S-JTSK jednotlivých bodů příčných profilů,
- tvorba povrchu terénu v AutoCAD Civil 3D,
- import dat z programu AutoCAD Civil 3D do programu HEC-RAS 5.0.3,
- vytvoření modelu terénu a výpočtové oblasti v programu HEC-RAS 5.0.3,

- nastavení výpočtu v programu HEC-RAS 5.0.3,
- výpočet 1D a 1D/2D modelu proudění v programu HEC-RAS 5.0.3,
- zpracování výsledků, návrh,
- výstupní tabulky, výkresy.

5.4 1D model ustáleného nerovnoměrného proudění vody v otevřených korytech

V přirozených korytech nebo upravených korytech, jejichž průtočný průřez a sklonové poměry se po délce toku mění, je proudění nerovnoměrné. Pro výpočet průběhu hladin byl použit 1D model ustáleného nerovnoměrného proudění vody, kdy je průtok v čase konstantní, a tedy i hydraulické charakteristiky (průřezová rychlost, průtočná plocha, drsnostní součinitel atd.) jsou nezávislé na čase, ale v prostoru (po délce) se mění. Obecně se nerovnoměrné ustálené proudění řeší metodou po úsecích, kdy se koryto rozdělí na jednotlivé úseky, ve kterých předpokládáme, že průtočné profily, a tedy i rychlosti se mění spojitě. Úseky počítáme postupně po proudu v případě bystřinného proudění nebo proti proudu u říčního proudění. [15]

Řešení výpočtu probíhá iterativně, vždy mezi dvěma nejbližšími profilem. Program HEC-RAS 5.0.3 používá rovnici (5.1) vyjadřující zákon zachování mechanické energie pro skutečnou kapalinu [16]:

$$Z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (5.1)$$

kde:

Z_1, Z_2 geodetická výška dna toku v profilu 1 a profilu 2 [m n. m.],

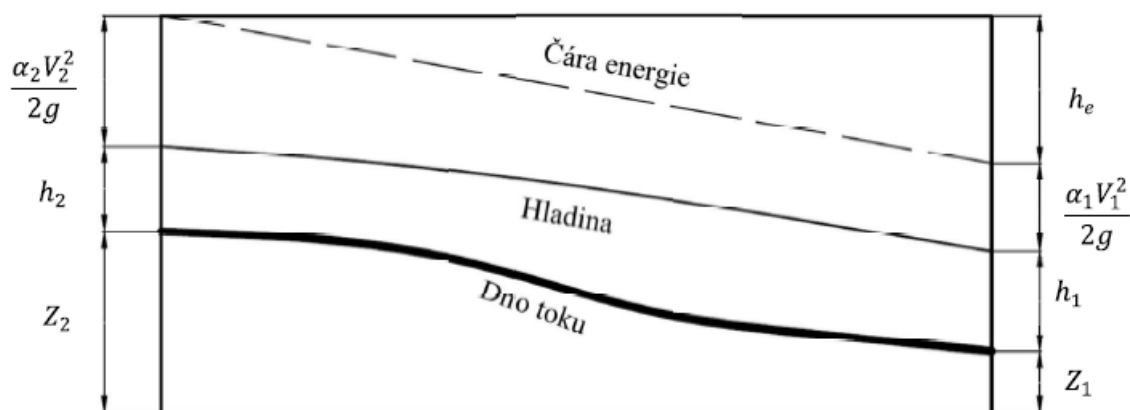
h_1, h_2 hloubka vody v profilu 1 a profilu 2 [m],

v_1, v_2 průměrná rychlost v profilech 1, 2 [m/s],

α_1, α_2 Coriolisovo číslo v profilech 1, 2 [-],

g tíhové zrychlení [m/s²],

h_e ztráta energetické výšky [m].



Obr. 5.1: Grafické znázornění rovnice (5.1) [16]

Ztráta energetické výšky h_e se skládá ze ztrát vzniklých třením a ztrát vzniklých kontrakcemi a expanzemi, program počítá ztrátu energetické výšky dle následující rovnice (5.2) [16]:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (5.2)$$

kde:

L délka řešeného úseku [m],

\bar{S}_f reprezentativní sklon čáry energie [-],

C koeficient kontrakce a expanze [-].

V místech, kde příčný profil obsahuje více rozdílných součinitelů drsnosti, počítá program HEC-RAS 5.0.3 dvěma různými způsoby. První způsob využívá rozdělení koryta do více sekcí dle přiřazených součinitelů drsnosti, druhý způsob využívá složeného součinitele drsnosti n_c . Způsob výpočtu závisí na poměru výšky ku délce dvou vedlejších uzlů s různými součiniteli drsnosti. Jestliže je spojnice těchto uzlů strmější než 5:1, pak je výpočet proveden se složeným součinitelem drsnosti n_c dle rovnice (5.3), v opačném případě se koryto rozděluje do více sekcí. [16]

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right] \quad (5.3)$$

kde:

N počet sekcí [-],

P omočený obvod celé řešené části [m],

P_i omočený obvod příslušné sekce [m],

n_i součinitel drsnosti příslušné sekce [-].

5.4.1 Okrajové a počáteční podmínky

Pro výpočet průběhu hladin stávajícího i návrhového stavu byla použita dolní okrajová podmínka – sklon čáry energie. Ve výpočtu se uvažuje se zjednodušujícím předpokladem, že sklon čáry energie je totožný se sklonem dna vodního toku. Počáteční podmínka pro výpočet průběhu hladiny byl odpovídající průtok, tedy **Q₅**, **Q₂₀** nebo **Q₁₀₀**.

5.4.2 Stanovení drsnostního součinitele *n*

Drsnostní součinitel **n** je možné určit výpočtem nebo odborným odhadem z tabulkových hodnot. Pro výpočet drsnostního součinitele stávajícího stavu dna koryta toku, byl použit výpočet dle Stricklera, drsnost svahů byla určena z tabulkových hodnot odborným odhadem na základě obchůzky řešeného úseku toku.

Při výpočtu drsnostního součinitele **n** se obecně vychází z křivky zrnitosti řešeného toku. Křivka zrnitosti udává procentuální zastoupení jednotlivých frakcí v celkovém vzorku. Pro diplomovou práci byla poskytnuta data z pracoviště Ústavu vodních staveb FAST VUT Brno o průměru zrna **d₉₀ = 65 mm** z řeky Svratky.

- Stupeň drsnosti **n** dle Stricklera [2]:

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0,065^{1/6}}{26} = 0,024388 [-] \cong 0,025 [-] \quad (5.4)$$

kde:

n stupeň drsnosti [-],

d₉₀..... 90% zrno z křivky zrnitosti [m].

Stupeň drsnosti dna koryta toku byl po výpočtu dle Stricklera zaokrouhlen na stranu bezpečnou na hodnotu $n = 0,025$ [-]. Vypočtená hodnota byla použita pro výpočet stávajícího stavu řešeného úseku.

Tab. 5.1: Stupeň drsnosti pro výpočet 1D modelu ustáleného nerovnoměrného proudění

Stupeň drsnosti pro 1D model		n [-]
Výpočet dle Stricklera	Dno koryta	0,025
Odborný odhad na základě obchůzky řešeného úseku	Zatrávněné svahy	0,035 - 0,040
	Kamenné zídky	0,025

Stejně hodnoty drsnostního součinitele pro dno, zatrávněné svahy a kamenné zídky byly použity pro výpočet průběhu hladin po navržených opatřeních.

5.4.3 Výsledky

Výsledky průběhů hladin jsou uvedeny v příloze číslo 2. V následující tabulce jsou zobrazeny pouze výsledky stávajícího stavu při průtoku Q_{20} .

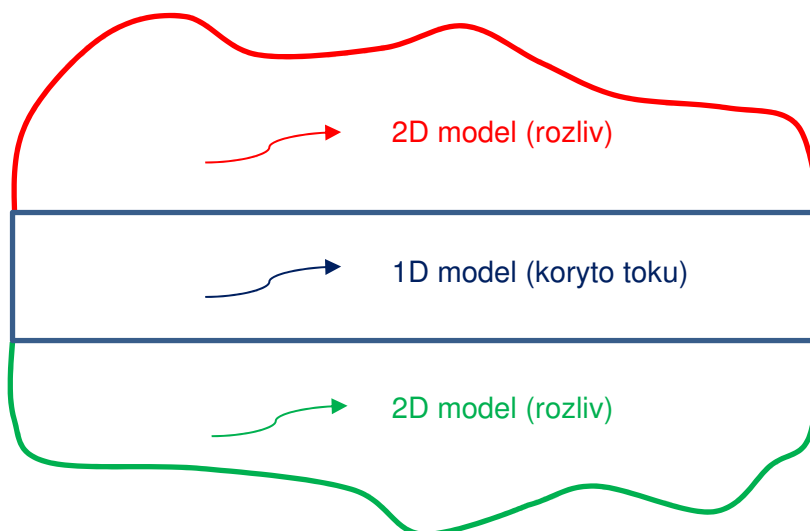
Tab. 5.2: Průběh hladin při průtoku Q_{20} – Stávající stav

Q_{20}	PF	Staničení	Průtok	Dno	Hladina	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
	[-]	[-]	[m³/s]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]	[m]
ÚSEK I	PF72	167,195	28,6	643,10	644,93	644,31	644,10	0,62	0,83
	PF71	167,098	28,6	642,48	644,68	643,92	643,19	0,76	1,49
	PF70	167,086	28,6	642,40	644,23	644,16	643,75	0,07	0,48
	PF69	167,079	28,6	642,34	644,19	644,41	643,75	-0,22	0,44
	PF68	167,069	28,6	642,25	644,10	644,31	643,76	-0,21	0,34
	PF67	166,969	28,6	641,69	643,20	642,85	642,74	0,35	0,46
	PF66	166,922	28,6	641,14	642,93	642,61	642,54	0,32	0,39
	PF65	166,821	28,6	640,70	642,30	641,75	641,66	0,55	0,64
	PF64	166,804	28,6	640,69	642,28	641,74	641,51	0,54	0,77
ÚSEK II	PF63	166,755	28,6	640,47	641,84	641,60	641,62	0,24	0,22
	PF62	166,743	28,6	639,84	641,70	641,39	641,37	0,31	0,33
	PF61	166,666	28,6	639,54	641,21	641,73	641,05	-0,52	0,16
	PF60	166,567	28,6	638,88	640,78	640,07	640,01	0,71	0,77
	PF59	166,519	28,6	638,50	640,66	640,06	639,59	0,6	1,07
	PF58	166,513	28,6	638,51	640,69	640,22	639,64	0,47	1,05
	PF57	166,510	28,6	638,51	640,69	640,12	639,49	0,57	1,2
	PF56	166,508	28,6	638,54	640,70	640,02	639,73	0,68	0,97
	PF55_L3	166,498	28,6	638,62	640,65	640,29	640,27	0,36	0,38
		166,496	Ocelový mostek						

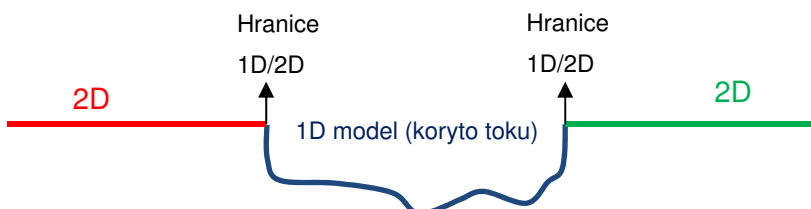
Q ₂₀	PF	Staničení	Průtok	Dno	Hladina	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
	[-]	[-]	[m³/s]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m n. m.]	[m]	[m]
Ú S E K I I	PF55	166,495	28,6	638,65	640,58	640,32	640,30	0,26	0,28
	PF54	166,488	28,6	638,67	640,43	640,21	640,22	0,22	0,21
	PF53	166,401	28,6	638,35	640,27	639,92	639,69	0,35	0,58
	PF52	166,337	28,6	637,90	640,07	639,91	639,46	0,16	0,61
	PF51	166,258	28,6	637,97	640,03	638,88	638,96	1,15	1,07
	PF50	166,213	28,6	638,16	639,97	639,42	639,27	0,55	0,7
	PF49	166,172	28,6	637,77	639,93	639,12	639,12	0,81	0,81
	PF48	166,139	28,6	637,68	639,82	638,78	638,47	1,04	1,35
	PF47	166,099	28,6	637,67	639,79	638,75	638,75	1,04	1,04
	PF46	166,094	28,6	637,42	639,80	638,74	638,70	1,06	1,1
	PF45	166,074	28,6	637,45	639,75	638,73	638,62	1,02	1,13
	PF44	166,057	28,6	637,40	639,69	638,80	638,57	0,89	1,12
	PF43	166,024	28,6	637,18	639,68	638,55	638,55	1,13	1,13
	PF42	165,990	28,6	637,20	639,63	638,42	638,42	1,21	1,21
	PF41_L2	165,983	28,6	637,19	639,67	638,40	638,42	1,27	1,25
		165,982	Ocelová lávka						
	PF41	165,981	28,6	637,19	639,65	638,40	638,42	1,25	1,23
	PF40	165,873	28,6	637,14	639,14	638,40	638,46	0,74	0,68
	PF39_M1	165,859	28,6	637,19	639,15	640,59	640,76	-1,44	-1,61
		165,855	Historický kamenný siniční most						
	PF39	165,850	28,6	637,22	639,12	640,59	640,76	-1,47	-1,64
	PF38	165,842	28,6	637,15	639,11	638,51	638,43	0,6	0,68
	PF37	165,816	28,6	637,14	638,91	638,41	638,39	0,5	0,52
	PF36	165,774	28,6	636,85	638,88	638,41	638,34	0,47	0,54
	PF35	165,761	28,6	637,11	638,86	638,34	638,33	0,52	0,53
	PF34	165,687	28,6	636,93	638,75	638,18	638,22	0,57	0,53
	PF33_L1	165,678	28,6	636,78	638,77	638,27	638,31	0,5	0,46
		165,677	Železobetonový mostek						
	PF33	165,675	28,6	636,72	638,70	638,21	638,25	0,49	0,45
	PF32	165,662	28,6	636,66	638,60	638,22	638,20	0,38	0,4
	PF31	165,607	28,6	636,73	638,44	638,11	638,07	0,33	0,37
	PF30	165,598	28,6	636,75	638,49	638,02	637,86	0,47	0,63
	PF29	165,566	28,6	636,50	638,44	637,97	637,56	0,47	0,88
	PF28	165,348	28,6	635,96	638,12	637,53	637,46	0,59	0,66
	PF27	165,215	28,6	635,79	637,63	637,58	637,11	0,05	0,52
	PF26	165,058	28,6	635,39	637,07	637,63	636,68	-0,56	0,39
Ú S E K I	PF25	164,898	28,6	635,03	636,61	636,21	636,45	0,4	0,16
	PF24	164,696	28,6	634,62	636,17	635,85	635,70	0,32	0,47
	PF23	164,676	28,6	634,78	636,11	635,70	635,74	0,41	0,37
	PF22	164,674	28,6	634,77	636,08	635,72	635,45	0,36	0,63
	PF21	164,672	28,6	634,76	636,10	635,73	635,39	0,37	0,71
	PF20	164,491	28,6	633,79	635,76	635,36	635,33	0,4	0,43
	PF19	164,329	28,6	633,33	635,36	635,08	634,86	0,28	0,5
	PF18	164,232	28,6	633,27	635,15	634,92	634,89	0,23	0,26
	PF17	164,078	28,6	633,13	634,96	634,25	634,52	0,71	0,44
	PF16	164,056	28,6	633,11	634,88	634,44	634,29	0,44	0,59

5.5 1D/2D model neustáleného proudění vody v otevřených korytech

V případě neustáleného proudění vody jsou hydraulické veličiny v čase proměnné, jsou tedy funkcí času a polohy. Pro výpočet rozlivů velkých vod bylo využito kombinace výpočtu 1D a 2D modelu neustáleného proudění v programu HEC-RAS 5.0.3. Dvojměrný model poskytuje informace o plošném rozdělení rychlostí a hloubek v celém území. Oproti samotnému 1D modelu je však náročnější na vstupní data, na vlastní výpočet a na dobu zpracování. [15] Program počítá v korytě toku pomocí jednorozměrného modelu, v inundačním území pomocí modelu dvojrozměrného. Oba modely jsou spřaženy na břehových čarách toku a dochází tak ke kombinaci výpočtu proudění.



Obr. 5.2: Schematizace 1D/2D modelu



Obr. 5.3: Schematizace 1D/2D modelu v řezu

5.5.1 Rovnice pro výpočet 1D modelu pro neustálené proudění

Výpočet neustáleného proudění vody vychází ze dvou základních fyzikálních zákonů. První zákon je zákon zachování hmotnosti, ze kterého vychází rovnice kontinuity (5.5) [16]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (5.5)$$

kde:

A průtočná plocha [m²],

Q průtok [m³/s],

t čas [s],

x vzdálenost [m],

q zdroj nebo propad [1/s].

Druhý je zákon o zachování hybnosti, ze kterého vychází pohybová rovnice (5.6) [16]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (5.6)$$

kde:

Q průtok [m³/s],

A průtočná plocha [m²],

g tíhové zrychlení [m/s²],

V průřezová rychlost [m/s],

t čas [s],

x vzdálenost [m],

S_f sklon čáry energie [-],

$\frac{\partial H}{\partial x}$ sklon vodní hladiny [-].

5.5.2 Rovnice pro výpočet 2D modelu pro neustálené proudění

Při výpočtu proudění vychází 2D model z Navier-Stokesových rovnic, které popisují pohyb tekutin ve třech dimenzích. Předpokladem pro výpočet proudění 2D modelu je zanedbání pohybu tekutiny ve směru osy z (vertikální směr), jelikož rychlost proudění v tomto směru je značně menší v porovnání s rychlostmi ve směru osy x a osy y (horizontální směry). Dalším předpokladem pro modelování 2D proudění je tekutina nestlačitelná a teplotně stálá. Obdobně jako 1D model neustáleného proudění vychází 2D model proudění ze dvou fyzikálních zákonů. Prvním zákonem je zákon zachování hmotnosti, ze kterého vychází rovnice kontinuity (5.7) [16]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_y)}{\partial y} + q = 0 \quad (5.7)$$

kde:

H nadmořská výška hladiny vody [m],

h hloubka vody [m],

u_x, u_y rychlost v daném směru [m/s],

x, y vzdálenost v daném směru [m],

t čas [s],

q zdroj nebo propad [1/s].

Pohybové rovnice (5.8) a (5.9) [16]:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) - c_f u_x + \alpha u_y \quad (5.8)$$

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) - c_f u_y + \alpha u_x \quad (5.9)$$

kde:

H nadmořská výška hladiny vody [m],

v_t koeficient turbulentní viskozity [-],

u_x, u_y rychlost v daném směru [m/s],

x, y vzdálenost v daném směru [m],

t čas [s],

α Coriolisovo číslo [-],

c_f koeficient tření o dno [-].

Výpočet koeficientu tření o dno c_f (5.10) [16]:

$$c_f = \frac{n^2 g}{R^{4/3}} |V| \quad (5.10)$$

kde:

c_f koeficient tření o dno [-],

n Manningův součinitel drsnosti [-],

g tíhové zrychlení [m/s^2],

R hydraulický poloměr [m],

$|V|$ velikost vektoru rychlosti [m/s].

Výpočet koeficientu turbulentní viskozity v_t (5.11) [16]:

$$v_t = D h u_* \quad (5.11)$$

kde:

v_t koeficient turbulentní viskozity [-],

D empirická konstanta [-],

h hloubka vody [m],

u_* smyková rychlost u dna [m/s].

Výpočet smykové rychlosti u_* (5.12) [16]:

$$u_* = \sqrt{g R S_f} = \frac{\sqrt{g}}{C} |V| = \frac{n \sqrt{g}}{R^{1/6}} |V| \quad (5.12)$$

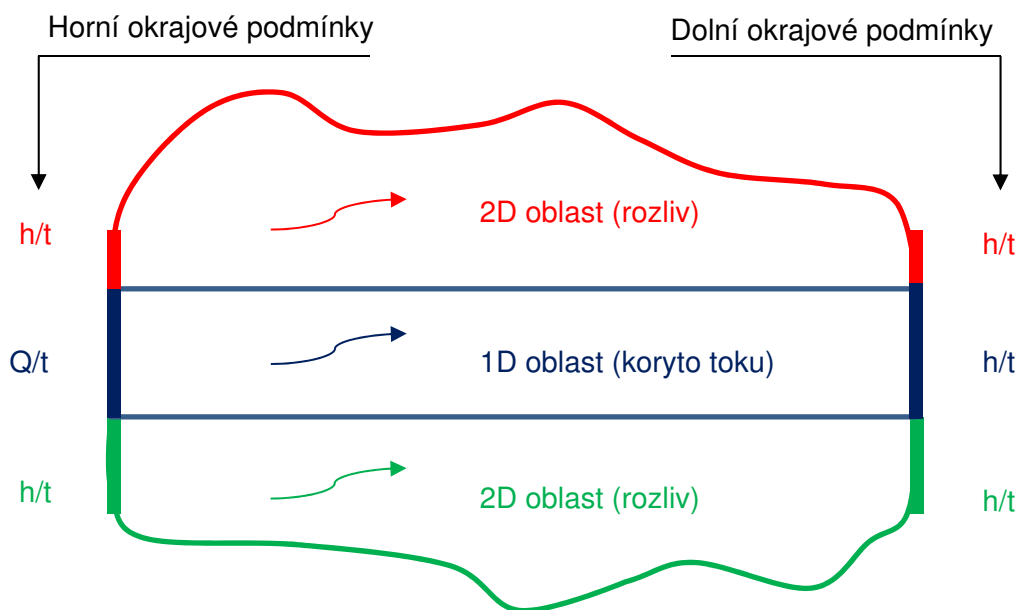
kde:

S_f sklon čáry energie [-],

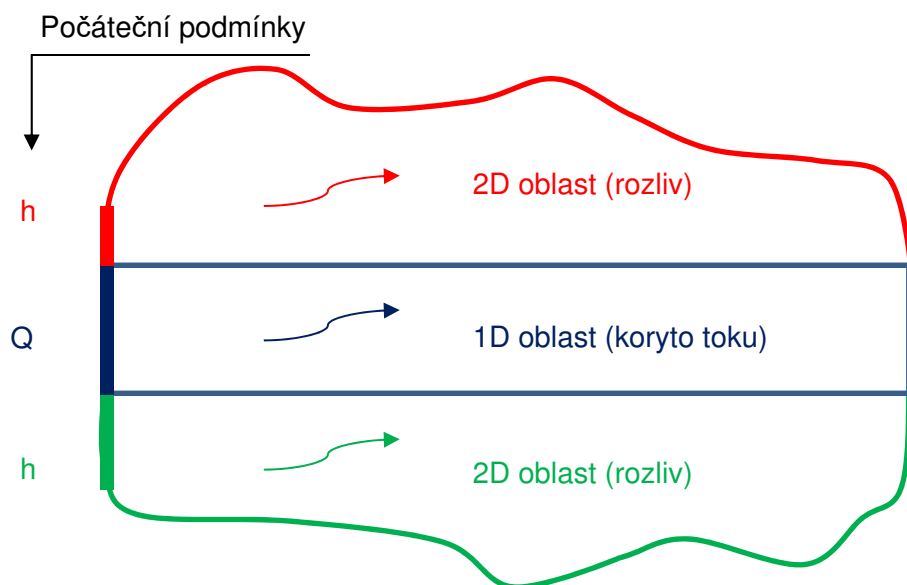
n Manningův součinitel drnosti [-],
 g tíhové zrychlení [m/s^2],
 R hydraulický poloměr [m],
 $|V|$ velikost vektoru rychlosti [m/s],
 C Chézyho rychlostní součinitel [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$].

5.5.3 Okrajové a počáteční podmínky

U výpočtového modelu 1D/2D je nutné zadat okrajové a počáteční podmínky všem vytvořeným oblastem proudění. Okrajové podmínky se zadávají na začátku každé oblasti (horní okrajová podmínka) i na konci (dolní okrajová podmínka). Počáteční podmínky se zadávají pouze na začátku jednotlivých oblastí. Schematizace okrajových a počátečních podmínek je zobrazena níže, kde h jsou nadmořské výšky hladiny v m n. m., Q je průtok v m^3/s a t je čas v sekundách. Podrobnější vysvětlení zadávání okrajových a počátečních podmínek je popsáno v příloze číslo 4.



Obr. 5.4: Schematizace okrajových podmínek



Obr. 5.5: Schematizace počátečních podmínek

5.5.4 Stanovení drsnostního součinitele n

V rámci výpočtů rozlivů velkých vod je třeba stanovit součinitele drsnosti nejen v korytě vodního toku, ale i v inundačním území. V inundačním území nelze určit hodnoty součinitele drsnosti výpočtem, proto je nutné součinitele drsnosti přiřadit jednotlivým plochám odborným odhadem na základě obchůzky zájmového území a zejména prostudováním odborné literatury, zabývající se danou problematikou. Drsnostní součinitel dna a svahů koryta toku byl použit z výše zmíněného výpočtu pro 1D model ustáleného nerovnoměrného proudění, viz Tab. 2.1. Pro určení součinitelů drsnosti v inundačním území byla použita literatura **Úprava tokov** od autorů Raplík, Výbora, Mareš a **Výpočet průtoku v otevřených korytech** od Mattase. Zvolené součinitele drsností pro jednotlivé plochy jsou vypsány v Tab. 5.3 na následující straně.

Tab. 5.3: Součinitele drsností pro inundační území při výpočtu 1D/2D modelu proudění
[17], [18]

Součinitel drsnosti n				
ID	NÁZEV	ÚPRAVA TOKOV - Raplík, Výbora, Mareš	VÝPOČET PRŮTOKU V OTEVŘENÝCH KORYTECH - Mattas	ZVOLENÉ n
1	Budovy	-	-	0,900
2	Silnice	0,013 – 0,016	0,013	0,013
3	Ulice	0,014 – 0,020	0,016	0,014
4	Cesty (polní, lesní)	0,022 – 0,030	0,019 – 0,022	0,020
5	Orná půda	0,030 – 0,050	0,030 – 0,050	0,050
6	Účelová zástavba	-	-	0,060
7	Louky, pastviny	0,030 – 0,050	0,030 – 0,050	0,045
8	Lesní půda se stromy	0,080 – 0,120	0,080 – 0,120	0,120
9	Ovocný sad, zahrada	0,035 – 0,070	0,035 – 0,070	0,070

5.5.5 Výsledky

Výsledky z výpočtů 1D/2D modelu proudění jsou zpracovány do map rozlivů, které jsou v příloze číslo 1. Mapa rozlivů před navrženým opatřením je zobrazena v příloze A.5.1. a Mapu rozlivů po navržených opatřeních v příloze A.5.2. Mapy jsou zpracovány dle **Metodiky tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik**.

6 IDEOVÝ NÁVRH

Před samotným návrhem je nutné určit charakter toku, ze kterého poté návrh vyplývá. Úsek řešený v diplomové práci spadá do kategorie potok pahorkatin. Sklon potoků pahorkatin se pohybuje zhruba v rozmezí 2 až 10 ‰, rybí pásmo je parmové až pstruhové. Je pro ně charakteristický velmi proměnlivý sklon toku, podélný profil koryta se čas od času mění. Významný je transport štěrku, písku a hlinitých splavenin v korytě, doprovázený sedimentací štěrku a písku. Písčité dno střídají hlinité až bahnité úseky v tůních a štěrkové brody. Trasa koryta je nepravidelná, v úsecích, kde koryto prochází širší aluviální nivou, potoční koryto meandruje. Hlinité břehy se štěrkovými vložkami jsou strmé s četnými drobnými nátržemi, přirozené koryto je značně členité s dostatkem úkrytů. V tůních i v proudných úsecích jsou četné porosty vodních rostlin. [19]

Navržená opatření vychází nejenom z charakteru toku, ale také z projektu **Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice**. Projekt se zabývá analýzou současného stavu krajiny v ČR ve vztahu k problematice ohrožení povodněmi a vodní erozí s následným návrhem souborů vhodných přírodě blízkých opatření na vodních tocích a v ploše povodí. Součástí projektu je mnoho mapových kompozic, návrh diplomové práce vychází z mapové kompozice s názvem **Návrhy opatření na vodních tocích a nivách**. V této kompozici jsou zobrazeny návrhy nových nádrží a základní typy opatření pro různá území podle **Metodiky přírodě blízkých protipovodňových opatření MŽP na páteřních tocích povodí IV. řádu**. [20] Na následující straně je zobrazena mapa zájmového území s návrhem z výše uvedené mapové kompozice.

V kapitole 3 POPIS ŘEŠENÉHO ÚSEKU byl zájmový úsek rozdělen do tří úseků, které vychází z rozdělení dle **Návrhu opatření na tocích a nivách**, viz Obr. 6.1 na následující straně. S tímto rozdělením koresponduje návrh, který je také rozdělen na tyto tři úseky. Na Obr. 6.1 jsou úseky vyznačeny modrou, žlutou a zelenou barvou, specifikace rozdělení je uvedena v legendě.

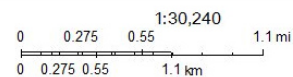
Návrhy opatření na vodních tocích a nivách



August 14, 2017

Základní typy opatření v území kat. A (1-8) a skupiny opatření v kat. území B

- 1. PBPO v nezastavěném území
- 2. PBPO v zastavěných oblastech
- 3. PBPO transformací povodňové vlny v suchých nádržích
- 4. Opatření na tocích, které zajišťují ekologické nebo architektonické funkce toku
- 5. Ochrana fungující retence záplavových území
- 6. Opatření kombinující typy 1 a 5 + technická PPO
- 7. Opatření v intravilánu o kterých nejsou relevantní informace
- 8. Opatření na stávajících vodních nádržích
- 1. Skupina opatření podporující retenci v nivách
- 2. Skupina opatření podporující protipovodňovou ochranu v zastavěných oblastech
- 3. Skupina opatření jsou potenciální profily pro realizaci suchých nádrží
- 4. Skupina opatření vázaná na vodní nádrže a soustavy vodních nádrží
- Návrh suchých (SN) a vodních nádrží (VN)



© ČÚZK

VÚV TGM, v.v.i. a.s.
VÚV TGM

Obr. 6.1: Návrhy opatření na vodních tocích a nivách [20]

6.1 Extravilán pod obcí – úsek I

V extravilánu pod obcí Herálec byla navržena revitalizace se snahou obnovy přirozených funkcí vodního toku. Navržena byla změna trasy se značným rozvolněním v údolní nivě o délce necelých 1700 m. Navržená trasa kopíruje původní trasu koryta toku. K návrhu nové trasy byl využit katastr nemovitostí, protože v zájmové lokalitě stále nedošlo k vypořádání pozemků a původní trasa Svratky je v katastru nemovitostí stále zobrazena. Parcely původní trasy vlastní Česká republika a právo hospodařit s majetkem státu má v tomto případě Povodí Moravy, s. p., které je také správcem vodního toku, a proto je možné zde trasu navrhnout.

Původní trasa koryta bude zasypána, lokálně bude využita pro výstavbu tůň či jako součást nově navrženého toku. V místě napojení na stávající trasu před intravilánem (ř. km 164,898) bude část stávajícího koryta využita jako „povodňová savka“. Zmíněná část koryta bude mít podobu zatravněného průlehu odděleného od nově navrženého koryta přehrázkami z dřevěné kulatiny, které při větších průtocích umožní proudění vody skrze něj. Povodňová savka tedy při velkých vodách umožní snadnější odtok vody z intravilánu a nebude docházet ke zpětnému vzduť. Přesné umístění průlehu je vyznačeno v příloze A.4.2. a vzorový řez přehrázkou je zobrazen v příloze B.2.6.

Díky rozvolnění trasy se mohl snížit podélný sklon, který je v tomto případě navržen na 1,3 ‰. Navržený sklon je zobrazen v podélném řezu v příloze B.1.2., jedná se pouze o teoretickou niveletu dna, ve které bude trasa vedena. Ve skutečnosti bude mít dno proměnlivý sklon v rámci jeho členitosti i v rámci proměnlivých hloubek v konkávních a konvexních za vzniku mikrotůň.

Navržena je kyneta na průtok $Q_{30d} = 0,955 \text{ m}^3/\text{s}$, která je mělká a miskovitá, sklon svahů je navržen v poměru 1:5 a pozvolně navazuje na okolní terén. Hloubka vody se pohybuje v rozmezí od 0,30 m do maximálně 1,1 metru v místě tůň. Šířka koryta převažuje nad hloubkou. Dno je rozčleněno kameny frakce 10 – 40 cm o hmotnosti do 80 kg. V konkávních obloucích bude dno zahloubené, dojde k pomalejšímu proudění vody a tlumení její kinetické energie. V přímých úsecích mezi oblouky bude naopak koryto mělké a dno rozčleněno kameny. Vzorový příčný řez je zobrazen v příloze B.2.1., návrh je vyobrazen i ve všech odpovídajících příčných řezech toku.

V místech původní trasy koryta jsou navrženy tři tůňe s čísly 1, 2 a 3. Všechny tři tůňe jsou dotované vodním tokem pomocí průcezných šterkových segmentů. Hladina vody v tůňích bude korespondovat s hladinou vody v toku. Sklony svahů tůní jsou mírné, maximální sklon je 1:3 a pozvolnější. Tůňe vytvoří prostředí pro vodní rostliny a živočichy, podpoří retenční kapacitu území, zadrží vodu v krajině a zvýší její ekologickou a estetickou hodnotu. Situační umístění tůní je zobrazeno v příloze A.4.1.

V ř. km 164,67 dojde ke zrušení stávajícího brodu, který slouží pro přejezd vozidel, která obhospodařují pravobřežní zemědělské pozemky. Brod bude nahrazen a nově zbudován v ř. km 164,30. Brod bude opatřený prahem z kamenné rovnaniny. Rovnanina z kamene je ukládána do dřevěných roštů z kulatinových výřezů v patě svahu a na šířku dna. Použije se kámen o průměru 30 – 50 cm s hmotností 30 - 100 kg, uložen bude do dřevěných roštů z kulatin o průměru 20 cm, mezery mezi kameny budou vyklínovány. Vzorové řezy prahu jsou zobrazeny v příloze B.2.2.

V celém úseku bude vysazena doprovodná vegetace, která je schematicky zobrazena v situačních výkresech a vzorových příčných řezech. Navržené stromové a keřové patro je uvedeno v kapitole 6.4 Doprovodná vegetace.

6.2 Intravilán – úsek II

V intravilánu ke změně trasy nedošlo. Byla zde vytvořena pouze menší kyneta, které byla trasa určena v místě stávajícího koryta. Navrženo bylo také pročištění koryta, které mírně zvýší jeho kapacitu. V příloze B.2.2. jsou znázorněny vzorové příčné řezy navržené kynety.

Mezi profily 26 – 59 byla navržena třicetidenní kyneta zastabilizovaná zápleťovými plůtky. Zápleťové plůtky určují trasu kynety a stabilizují ji mezi kamennými zdmi, díky tomu je odtok vody v obci plynulý. Mělká kyneta bude neustále zatopena vodou a nebude tak docházet k jejímu zanášení a zarůstání. Navržený sklon je v tomto úseku 2,1 ‰. Dno je rozčleněno kameny frakce 10 – 40 cm o hmotnosti do 80 kg. V konkávách je dno mírně zahloubené, dochází tak k tlumení kinetické energie a členitosti rychlostí a hloubek.

V úseku mezi profily 59 – 62 byla navržena kyneta bez stabilizace na $Q_{30d} = 0,955 \text{ m}^3/\text{s}$, úsek se nachází za spádovým stupněm, kde je navržen sklon

6 ‰. Z důvodu většího sklonu zde dochází k větším rychlostem proudění, proto je navržena kyneta menších rozměrů. Sklon svahů je navržen v poměru 1:3. Dno je rozčleněno kameny frakce 10 – 40 cm o hmotnosti do 80 kg. V konkávních obloucích bude dno zahloubené, dojde k pomalejšímu proudění vody a tlumení její kinetické energie. V přímých úsecích mezi oblouky bude naopak koryto mělčí a dno rozčleněno kameny.

Brod, soutoky a křížení toku s historickým mostem bude zpevněno prahem. Práh pro stabilizaci dna bude tvořen rovinaninou z kamene, která je ukládána do dřevěných kulatin stejně jako v kapitole 6.1, vzorové řezy prahu jsou znázorněny v příloze B.2.2. V místě stávajícího brodu je nutné při povodni použít mobilní hrazení, jeho typ a uložení by určila sama obec na základě jejího územního plánu. U přítoků dojde také ke zpětnému navýšení břehových linií po celé délce vzdutí. V rámci vyššího stupně projektové dokumentace by bylo nutné přítoky podrobně zaměřit a určit délku vzdutí hydraulickým výpočtem.

Jelikož intravilán není chráněn ani na pětiletou vodu (15,8 m³/s), byla navržena jeho ochrana na průtok $Q_{20} = 28,6 \text{ m}^3/\text{s}$. V rámci protipovodňové ochrany na dvacetiletou vodu dojde k navýšení zdí v intravilánu, návrhu nových železobetonových protipovodňových zdí a dvou ochranných hrází. Protipovodňová opatření jsou navržena s převýšením 0,3 m nad hladinu při průtoku Q_{20} . Výšky nových a navýšených zdí se pohybují od 0,32 do 1,32 metru. Výšky ochranných hrází se pohybují cca od 0,00 do 0,80 metru. Konkrétní výškové kóty jsou uvedeny v podélném řezu B.1.3. a v odpovídajících příčných řezech toku.

Nová železobetonová protipovodňová zeď bude navržena na levém břehu v ř. km cca 165,200 – 165,600, dále pak cca ř. km 166,099 – 166,530. Na pravém břehu bude navržena ŽB protipovodňová zeď v ř. km cca 165,500 – 165,600, dále v cca ř. km 166,090 – 166,138. Železobetonová PPO zeď bude opatřena pohledovým betonem se vzorem kamenné zídky po obou stranách zdi. Nově navržené ŽB zdi jsou umístěny na hranicích parcel stávajícího toku. Z důvodu nevypořádání pozemků se současná trasa toku v některých případech nachází i na pozemcích soukromých vlastníků, a i přesto, že bude ponechána v intravilánu stávající trasa vodního toku, mohl by být návrh touto komplikací znemožněn. Vzorový řez novou železobetonovou PPO zdí je zobrazen v příloze B.2.4. Navržená ochranná hráz slouží k zavázání navržených ochranných prvků do okolního terénu. První ochranná hráz je umístěna

na pravém břehu v ř. km 165,50, druhá ochranná hráz je na levém břehu v ř. km 166,52. V příloze B.2.5. je zobrazen vzorový řez ochrannou hrází. Při návrhu hrází byla opět snaha o využití pozemků správce vodního toku Povodí Moravy, s. p. nebo obce Herálec, u pravobřežní hráze toto stanovisko bylo z velké části možné dodržet, u levobřežní hráze bohužel ne.

Navržené protipovodňové zdi je nutné opatřit zpětnými klapkami, aby v případě jejich přelití při větším průtoku, než je průtok návrhový, mohla voda z lokality samovolně odtéct. V řešeném území je potřeba navrhnout minimálně čtyři zpětné klapky, a to dvě na levém břehu a dvě na pravém břehu. Na pravém břehu v lokalitách, které určuje přítok Brušovecký potok, tedy před a za ním. Přesněji mezi Brušoveckým potokem a ochrannou hrází a dále mezi zavazující ochrannou zdí a Brušoveckým potokem. Na levém břehu v lokalitách, které určuje přítok Ambrožka, opět tedy před a za ním. Přesněji mezi zavazující zdí do okolního terénu a Ambrožkou, další pak na opačně orientované straně Ambrožky k ochranné hrází. Při zpracovávání vyššího stupně projektové dokumentace by bylo zapotřebí počet zpětných klapek a jejich konkrétní místa upřesnit.

Navrženo je také navýšení veškerých objektů na toku, kromě silničního historického mostu (ř. km 165,85), který je dostatečně kapacitní a převede i $Q_{20} = 28,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Návrh protipovodňových opatření v intravilánu je zobrazen v podélném profilu příloha B.1.3. a v situačních výkresech přílohy A.4.3., A.4.4., A.4.5. a A.4.6., návrh je také vykreslen ve všech odpovídajících příčných řezech toku.

Na pravém břehu v ř. km cca 166,7 se mimo zastavěnou část obce nachází soukromý objekt, který je ohrožen velkými vodami. V rámci diplomové práce nebyl do návrhu podrobněji zahrnut, proto ani do výpočtu rozlivů v programu 1D/2D modelu nebyla jeho ochrana zadána. Objekt by se řešil individuální ochrannou, například železobetonovou protipovodňovou zídkou nebo ochrannou zemní hrázkou na základě domluvy s majitelem objektu a pozemků. Zmíněná myšlená ochrana je znázorněna v situačním výkresu příloha A.4.7. Hloubky vody se v místě řešeného objektu pohybují v rozmezí od 0,30 metru maximálně do 0,80 metru. Objekt by bylo třeba posoudit z ohledu jeho skutečné výšky založení, zda je založen například na podezdívce. Z konkrétních zjištění poté bylo odvozeno, jaká hloubka vody je v dané lokalitě pro objekt ohrožující. Z těchto individuálních zjištění by byl odvozen konečný návrh ochrany objektu.

6.3 Extravilán nad obcí – úsek III

Poslední úsek v extravilánu nad obcí Herálec obsahuje obdobný návrh jako extravilán v úseku I. Je zde navržena revitalizace se snahou obnovy přirozených funkcí vodního toku. Navržena byla změna trasy se značným rozvolněním v údolní nivě o délce necelých 300 m. Navržená trasa kopíruje původní trasu koryta toku. K návrhu nové trasy byl opět využit katastr nemovitostí, i zde v zájmové lokalitě stále nedošlo k vypořádání pozemků a původní trasa Svratky je v katastru nemovitostí stále zobrazena. Parcely katastru nemovitostí původní trasy vlastní Česká republika a právo hospodařit s majetkem státu má také správce vodního toku Povodí Moravy, s. p.

Původní trasa koryta bude zasypána, lokálně bude využita pro výstavbu tůní či jako součást nově navrženého toku. Díky rozvolnění trasy se mohl snížit podélný sklon, který je v tomto případě navržen na 4,13 ‰. Navržený sklon je zobrazen v podélném řezu příloha B.1.4., jedná se pouze o teoretickou niveletu dna, ve které bude trasa vedena. Ve skutečnosti bude mít dno proměnlivý sklon v rámci jeho členitosti i v rámci proměnlivých hloubek v konkáвах a konvexách za vzniku mikrotůní.

Navržena je kyneta na průtok $Q_{30d} = 0,955 \text{ m}^3/\text{s}$, která je mělká a miskovitá, sklon svahů je navržen v poměru 1:6 a pozvolně navazuje na okolní terén. Hloubka vody se pohybuje v rozmezí od 0,30 m do maximálně 1,0 metru v místě tůní. Šířka koryta převažuje nad hloubkou. Dno je rozčleněno kameny frakce 10 – 40 cm o hmotnosti do 80 kg. V konkáвах oblouků bude dno zahloubené, dojde k pomalejšímu proudění vody a tlumení její kinetické energie. V přímých úsecích mezi oblouky bude naopak koryto mělké a dno rozčleněno kameny. Vzorový příčný řez je zobrazen v příloze B.2.3., návrh je vyobrazen i ve všech odpovídajících příčných řezech toku.

V místech původní trasy koryta jsou navrženy tři tůně s čísly 4, 5 a 6. Tůň číslo 4 je dotovaná vodním tokem pomocí průčezného šterkového segmentu. Tůně číslo 5 a 6 jsou tůně postranní, které jsou dotovány podzemní vodou. Hladina vody v tůních bude korespondovat s hladinou vody v toku. Sklony svahů tůní jsou mírné, maximální sklon je 1:3 a pozvolnější. Tůně vytvoří prostředí pro vodní rostliny a živočichy, podpoří retenční kapacitu území, zadrží vodu v krajině a zvýší její ekologickou a estetickou hodnotu. Situační umístění tůní je zobrazeno v příloze A.4.7.

V ř. km 166,755 se nachází spádový stupeň, který na toku tvoří migrační překážku. Bude tedy odstraněn a nahrazen balvanitým skluzem ve sklonu 1:10, který umožní rybí osádce bez problému migrovat. Podrobnější návrh balvanitého skluzu nebyl v rámci ideového návrhu v diplomové práci zpracován.

Na soutoku s Břimovkou ř. km 166,81 bude dno stabilizováno opět prahem z kamenné rovnaniny, která bude ukládána do dřevěných roštů z kulatin, jako již výše zmíněné prahy pro stabilizaci dna. Práh je zobrazen v příloze B.2.2.

V celém úseku bude vysazena doprovodná vegetace, která je schematicky zobrazena v situačních výkresech a vzorových příčných řezech. Navržené stromové a keřové patro je uvedeno v kapitole 6.4 Doprovodná vegetace.

6.4 Doprovodná vegetace

V extravilánu v úseku I a III byla navržena doprovodná vegetace vodního toku, která odpovídá zájmové oblasti. Zájmové území spadá do kategorie jasanových olšin. Navržená doprovodná vegetace je uvedena níže. [21] Její situační rozmístění je vyznačeno v přílohách A.4.1., A.4.2. a A.4.7.

Stromové patro:

- | | |
|--|----------------|
| • <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner | Olše lepkavá |
| • <i>Fraxinus excelsior</i> L. | Jasan ztepilý |
| • <i>Populus tremula</i> L. | Topol osika |
| • <i>Sorbus aucuparia</i> L. | Jeřáb obecný |
| • <i>Betula pendula</i> Roth. | Bříza bělokorá |

Keřové patro:

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| • <i>Frangula alnus</i> Mill. | Krušina olšová |
| • <i>Prunus spinosa</i> | Trnka obecná |
| • <i>Crataegus oxyacantha</i> | Hloh obecný |

7 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ

Řešená lokalita byla rozdělena na tři dílčí úseky, ve kterých byly provedeny jim odpovídající ideové návrhy.

V obou částech extravilánu v úsecích I a III byla navržena revitalizační opatření blízká přírodě. Navržena byla rozvolněná trasa, stěhovavá kyneta, tůň a doprovodná vegetace. V rámci navržených revitalizačních opatření dojde k obnově přirozených funkcí vodního toku, k obnově vodních ekosystémů a prvků ekologické stability, k obnově hydrologické a prostorové struktury mokřadních ekosystémů a k vytvoření podmínek pro vznik nových mokřadních i rostlinných společenstev. Dále se zvýší retenční schopnost krajiny a dojde k nalepšení zásob podzemní vody. Díky návrhu se znovuobnoví doprovodné a břehové porosty vodního toku. Návrh okolních revitalizací v extravilánu zvýší také estetickou stránku okolí obce a vytvoří místo pro odpočinek a relaxaci místních obyvatel. Jelikož v zájmovém území stále nedošlo k vypořádání pozemků, bylo při návrhu v extravilánu využito parcel původní trasy vodního toku, se kterými má právo hospodařit správce vodního toku.

V intravilánu – úsek II obce Herálec byla navržena protipovodňová ochrana na dvacetiletou vodu, která odpovídá $Q_{20} = 28,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Vzhledem ke stávajícímu stavu, kdy není obec ochráněna ani na vodu pětiletou $Q_5 = 15,8 \text{ m}^3/\text{s}$, představuje návrh značný rozdíl. Navržená opatření obsahují navýšení stávajících kamenných zdí, výstavbu nových zdí a dvou ochranných hrází. Protipovodňová opatření jsou navržena s převýšením 0,3 m nad hladinu při návrhovém průtoku Q_{20} . V návrhu je také zahrnuta úprava kynety a její stabilizace laťovým plůtkem. Návrh protipovodňové ochrany se snaží využívat pozemků, které umožňují návrh realizovat, avšak ne ve všech případech tak bylo možné učinit, podrobněji je tento problém popsán v kapitole 6 IDEOVÝ NÁVRH.

Vhodné by bylo samozřejmě řešit zadržování vody v povodí komplexně a hledat tak další možná řešení protipovodňové ochrany. Jednou z alternativ je srážky zadržet v místě jejich dopadu a zvýšit tak jejich vsakování pomocí drobných prvků v krajině. Využitím komplexních opatření v povodí by došlo ke snížení nákladnosti navrhovaného protipovodňového opatření v intravilánu obce Herálec.

8 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce, která byla zaměřena na návrh opatření na toku Svratka v katastrálním území Český Herálec a Herálec na Moravě, v ř. km cca 164,000 - 167,000, bylo provedeno posouzení současného stavu vodního toku, dále bylo provedeno posouzení kapacity vodního toku a objektů na toku.

Stanovením průběhu hladin velkých vod a jejich rozlivů bylo zjištěno, že obec Herálec není chráněna ani na vodu pětiletou ($Q_5 = 15,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Po posouzení současného stupně protipovodňové ochrany obce byl proveden ideový návrh protipovodňové ochrany intravilánu na průtok $Q_{20} = 28,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Současný stav vodního toku je narušen antropogenními vlivy a není přírodě blízký. Vzhledem k tomu, že se vodní tok nachází v CHKO, byl v extravilánu proveden ideový návrh na zlepšení stavu vodního toku. Navržená revitalizační opatření zahrnují rozvolnění trasy vodního toku, návrh mělké miskovité stěhovavé kynety, návrh tůní a doprovodné vegetace. Při návrhu revitalizace bylo snahou využít původní trasy přirozeného koryta vodního toku, před zásahy lidské činnosti. Revitalizace obnoví ekologickou funkci toku a umožní vznik nových biotopů vodních rostlin, živočichů i mokřadních společenstev.

Ideový návrh na zvýšení ochrany přilehlého území a zlepšení stavu vodního toku na horním toku Svratky se snaží využívat výhradně pozemků, se kterými má právo hospodařit správce vodního toku, Povodí Moravy, s. p. nebo obec Herálec. Při návrhu nastaly ovšem i situace, kdy této snaze nebylo možné vyhovět. Velký podíl na tom má stále neuskutečněné vypořádání pozemků, které by realizaci návrhu mohlo zkomplikovat nebo dokonce znemožnit. Proto je velmi důležité nejprve vypořádat pozemky v zájmovém území.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Radka Klepárníková
autor práce

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

9.1 Internetové zdroje

- [1] Charakteristiky toků a povodí ČR. Oddělení geografických informačních systémů a kartografie: Projekty: Charakteristiky toků a povodí ČR [online]. Praha: VÚV TGM, veřejná výzkumná instituce - Odbor ochrany vod a informatiky - Oddělení GIS, 2014 [cit. 2017-07-23]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>
- [3] Základní vodohospodářská mapa ČR 1:50 000: mapové listy (archiv, 1986 - 1999). HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2017 [cit. 2017-08-07]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/data/spusteni/identchk.asp?typ=96&oblast=StazeniZVM50LN>
- [4] Mapa: Vodní hospodářství a ochrana vod. HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2017 [cit. 2017-08-07]. Dostupné z: http://heis.vuv.cz/data/spusteni/identchk.asp?typ=96&oblast=vh_map
- [5] Mapové aplikace. Česká geologická služba: mapy: geologie [online]. [cit. 2017-08-07]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace#>
- [6] Mapové aplikace. Česká geologická služba: mapy: půdy [online]. [cit. 2017-08-07]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace#>
- [7] Klimatické regiony ČR (dle Quitt, 1971). Svaz pro integrované systémy pěstování ovoce: klimatické regiony [online]. 2017 [cit. 2017-08-07]. Dostupné z: <http://www.ovocnarska-unie.cz/sispo/?str=klima-mapa>
- [9] Voda: Odběry a vypouštění. EAGRI [online]. 2016 [cit. 2017-08-14]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/odbery-a-vypousteni.html/>

- [10] Průvodce: Řeka Svratka. RAFT.CZ [online]. [cit. 2017-08-14]. Dostupné z: http://www.raft.cz/morava/svratka.aspx?ID_reky=47
- [11] ÚSTŘEDNÍ ARCHIV ZEMĚMĚŘICTVÍ A KATASTRU (ÚAZK) [online]. [cit. 2017-08-21]. Dostupné z: <http://historickemapy.cuzk.cz/uazk/pohledy/archiv.html>
- [20] Mapové kompozice: Návrhy opatření na vodních tocích a nivách. Voda v krajině: Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice [online]. 2015 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://www.vodavkrajine.cz/mapove-kompozice>

9.2 Literatura, dokumenty

- [2] ŠLEZINGR, Miloslav. HYDROTECHNICKÉ STAVBY I: Modul 1: Návrh říčního koryta. Brno, 2005, 65 s.
- [8] ŠINDLAR, S.R.O. Svratka, km 163,000-170,400 - Přírodě blízká protipovodňová opatření Herálec: Studie proveditelnosti: Průvodní a technická zpráva. Hradec Králové, 2015.
- [12] JUST, Tomáš, Václav MATOUŠEK, Martin DUŠEK, David FISCHER a Petr KARLÍK. Vodohospodářské revitalizace: a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Hořovice, 2005.
- [13] JUST, Tomáš a kol. Revitalizace vodního prostředí. Praha: AOPK ČR, 2003.
- [14] JUST, Tomáš. Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi: Revitalizace sídelního prostředí vodními prvky. Praha: AOPK ČR, 2010, 213 s. ISBN 978-80-87457-03-0.
- [15] JANDORA, Jan a Hana UHMANNOVÁ. PROUDĚNÍ V SYSTÉMECH ŘÍČNÍCH KORYT: Modul 1, Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia. 2006.
- [16] BRUNNER, Gary W. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. Davis, California, 2016.

- [17] RAPLÍK, Milan, Pavel VÝBORA a Karel MAREŠ. Úprava tokov. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-050-0128-2.
- [18] MATTAS, Daniel. Výpočet průtoku v otevřených korytech. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 2014. ISBN 978-80-87402-27-6.
- [19] VOKURKA, A. a J. ZUNA. Podklady pro aktualizaci metodiky pro navrhování PBPO: Česká společnost krajinných inženýrů.
- [21] ŠIMÍČEK, Václav. Břehové a doprovodné porosty vodních toků - součást lužních ekosystémů. Praha: Agrospoj, 1999.
- [22] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod. Praha, 2014

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

1D	jednorozměrný	
2D	dvojměrný	
α	Coriolisovo číslo	[-]
α_1, α_2	Coriolisovo číslo v profilech 1, 2	[-]
$\frac{\partial H}{\partial x}$	sklon vodní hladiny	[-]
A	průtočná plocha	[m ²]
C	Chézyho rychlostní součinitel	[m ^{0,5} /s]
C	koeficient kontrakce a expanze	[-]
c_f	koeficient tření o dno	[-]
D	empirická konstanta	[-]
d ₉₀	90% zrno z křivky zrnitosti	[m]
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
H	nadmořská výška hladiny vody	[m]
h	hloubka vody	[m]
h ₁ , h ₂	hloubka vody v profilu 1 a profilu 2	[m]
h _e	ztráta energetické výšky	[m]
L	délka řešeného úseku	[m]
m n. m.	metry nad mořem	
n	stupeň drsnosti	[-]
n _i	součinitel drsnosti příslušné sekce	[-]
N	počet sekcí	[-]
P	omočený obvod celé řešené části	[m]
P _i	omočený obvod příslušné sekce	[m]
q	zdroj nebo propad	[1/s]
Q	průtok	[m ³ /s]
Q _m	m-denní průtok	[m ³ /s]
Q _N	N-letý průtok	[m ³ /s]
R	hydraulický poloměr	[m]
ř. km	říční kilometr	
S _f	sklon čáry energie	[-]
\bar{S}_f	reprezentativní sklon čáry energie	[-]

t	čas	[s]
u_x, u_y	rychlost v daném směru	[m/s]
u_*	smyková rychlost u dna	[m/s]
V	průřezová rychlost	[m/s]
v_1, v_2	průměrná rychlost v profilech 1, 2	[-]
ν_t	koeficient turbulentní viskozity	[-]
$ V $	velikost vektoru rychlosti	[m/s]
x, y	vzdálenost v daném směru	[m]
Z_1, Z_2	geodetická výška dna toku v profilu 1 a profilu 2	[m n. m.]

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Přehledná mapa povodí Svratky [1]	11
Obr. 2.2: Hydrologická povodí IV. řádu [4]	12
Obr. 2.3: Geologická mapa [5]	14
Obr. 2.4: Legenda geologické mapy [5].....	15
Obr. 2.5: Pedologická mapa [6]	16
Obr. 2.6: Legenda pedologické mapy [6].....	17
Obr. 3.1: Topografická mapa – rok 1952 [11].....	22
Obr. 3.2: Současná trasa Svratky – rok 2017.....	23
Obr. 3.3: Příčný úsek - ř. km 164,00	24
Obr. 3.4: Příčný úsek – ř. km 164,50.....	24
Obr. 3.5: Zpevněný brod – ř. km 164,67.....	25
Obr. 3.6: Vymílání břehů, snaha o přirozený pohyb.....	26
Obr. 3.7: Vymílání břehů, snaha o přirozený pohyb.....	27
Obr. 3.8: Opevnění v intravilánu.....	28
Obr. 3.9: Zarostlé a zanesené koryto v intravilánu.....	28
Obr. 3.10: Zarostlé a zanesené koryto v intravilánu.....	29
Obr. 3.11: Ostrohranný přeliv	29
Obr. 3.12: Vymílání břehů – výsep ř. km 166,300.....	30
Obr. 3.13: Zpevněný brod – ř. km 166,500.....	31
Obr. 3.14: Betonové panely – ř. km 166,600 – 166,700.....	31
Obr. 3.15: Spádový stupeň.....	32
Obr. 3.16: Ukázka extravilánu ř. km 166,920	32
Obr. 3.17: Železobetonový mostek – ř. km 165,6747.....	33
Obr. 3.18: Železobetonový mostek – ř. km 165,6747 – pohled po směru toku	33
Obr. 3.19: Železobetonový mostek – ř. km 165,6747 – pohled proti směru toku	34

Obr. 3.20: Silniční most – ř. km 165,8499 – pohled proti směru toku.....	34
Obr. 3.21: Silniční most – ř. km 165,8499	35
Obr. 3.22: Ocelová lávka – ř. km 165,9813 – pohled proti směru toku	35
Obr. 3.23: Ocelová lávka – ř. km 165,9813	36
Obr. 3.24: Ocelový mostek – ř. km 166,4946 – pohled proti směru toku	37
Obr. 3.25: Ocelový mostek – ř. km 166,4946	37
Obr. 4.1: Vzorové trasy vodních toků [13]	42
Obr. 4.2: Srovnání základní geometrie příčných profilů [13]	43
Obr. 4.3: Příčné profily přirozených vodních toků.....	43
Obr. 4.4: Rozdílné požadavky revitalizace ve volné krajině a intravilánu [14].....	44
Obr. 4.5: Přejít mezi extravilánem a intravilánem [14].....	45
Obr. 4.6: Povodňová savka [14]	46
Obr. 4.7: Vhodné úpravy koryt v intravilánu [14]	47
Obr. 4.8: Úprava dna vodního toku v intravilánu [14]	49
Obr. 5.1: Grafické znázornění rovnice (5.1) [16]	52
Obr. 5.2: Schematizace 1D/2D modelu	56
Obr. 5.3: Schematizace 1D/2D modelu v řezu	56
Obr. 5.4: Schematizace okrajových podmínek	60
Obr. 5.5: Schematizace počátečních podmínek.....	61
Obr. 6.1: Návrhy opatření na vodních tocích a nivách [20]	64

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Údaje hydrologických povodí IV. řádu [4].....	12
Tab. 2.2: Hydrologická data řeky Svratky [8].....	18
Tab. 2.3: m – denní průtoky řeky Svratky [8].....	18
Tab. 2.4: N – leté průtoky řeky Svratky [8]	18
Tab. 2.5: Orientační teoretické nejistoty dle ČSN 75 1400 [22].....	19
Tab. 2.6: Přehled ploch v zájmovém území [8]	19
Tab. 5.1: Stupeň drsnosti pro výpočet 1D modelu ustáleného nerovnoměrného proudění	54
Tab. 5.2: Průběh hladin při průtoku Q_{20} – Stávající stav	54
Tab. 5.3: Součinitele drsností pro inundační území při výpočtu 1D/2D modelu proudění [17], [18]	62

13 SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkresová dokumentace

A. Situační výkresy

A.1. Přehledná mapa zájmového území	1 : 50 000
A.2. Situace širších vztahů	1 : 10 000
A.3. Celkový situační výkres	1 : 4 000
A.4.1. Podrobný situační výkres PF 16 – 20	1 : 500
A.4.2. Podrobný situační výkres PF 21 – 25	1 : 500
A.4.3. Podrobný situační výkres PF 26 – 28	1 : 500
A.4.4. Podrobný situační výkres PF 29 – 40	1 : 500
A.4.5. Podrobný situační výkres PF 40 – 53	1 : 500
A.4.6. Podrobný situační výkres PF 51 – 61	1 : 500
A.4.7. Podrobný situační výkres PF 61 – 71	1 : 500
A.5.1. Mapa rozlivů před opatřením	1 : 5 000
A.5.2. Mapa rozlivů po navržených opatřeních	1 : 5 000

B. Výkresová dokumentace

B.1.1. Podélný profil – Stávající stav	1 : 2 000/100
B.1.2. Podélný profil – Návrh extravilán pod obcí – úsek I	1 : 2 000/100
B.1.3. Podélný profil – Návrh intravilán – úsek II	1 : 2 000/100
B.1.4. Podélný profil – Návrh extravilán nad obcí – úsek III	1 : 2 000/100
B.2.1. Vzorové příčné řezy – Extravilán pod obcí – úsek I	1 : 50
B.2.2. Vzorové příčné řezy – Intravilán – úsek II	1 : 50
B.2.3. Vzorové příčné řezy – Extravilán nad obcí – úsek III	1 : 50
B.2.4. Vzorový řez železobetonovou PP zdí	1 : 20
B.2.5. Vzorový řez ochrannou hrází	1 : 20
B.2.6. Vzorový řez přehrážkou	1 : 20

- | | |
|------------------------------------|---------|
| B.3.1. Příčné řezy toku PF 16 – 25 | 1 : 100 |
| B.3.2. Příčné řezy toku PF 26 – 45 | 1 : 100 |
| B.3.3. Příčné řezy toku PF 46 – 62 | 1 : 100 |
| B.3.4. Příčné řezy toku PF 63 – 71 | 1 : 100 |
2. Stanovení průběhů hladin velkých vod
 3. Fotodokumentace
 4. Postup nastavení výpočtu 1D/2D modelu proudění v programu HEC-RAS 5.0.3